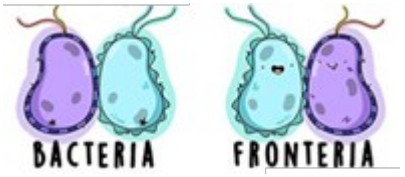
Introducción al estudio de las bacterias



© Olga Rivas Solano 2026

AGENDA – 02/03/2026

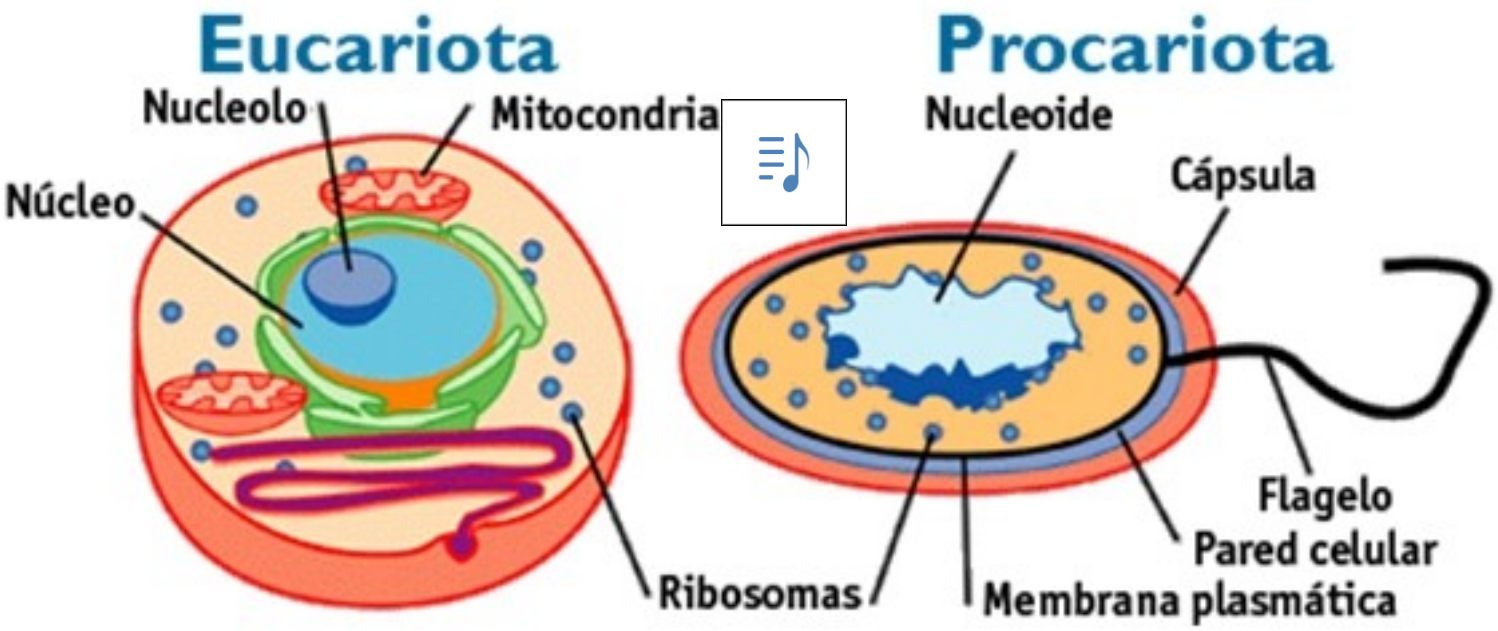
Semana N°3 2-6 marzo	3. Introducción al estudio de las bacterias	**Sesión virtual asincrónica** • Actividad de aula invertida. Consignas disponibles en TEC Digital.	• Analizar el material de la actividad de aula invertida. • Enviar avance #1 al correo orivas@itcr.ac.cr	• Entrega de avance #1 (2%)

3. Introducción al estudio de las bacterias: 6 h lectivas y 12 h extra clase.

1. Diferencias entre procariotas y eucariotas.
2. Tipos de estructuras celulares bacterianas:
   - 2.1 Pared celular.
   - 2.2 Membrana.
   - 2.3 Flagelos.
   - 2.4 Superficie bacteriana.
   - 2.5 Esporas.
   - 2.6 Ácidos nucleicos.
3. Repaso de conceptos de genética bacteriana.
4. Grupos y familias de bacterias.
5. Nociones sobre virulencia y patogénesis de las bacterias.

1. Diferencias entre procariotas y eucariotas

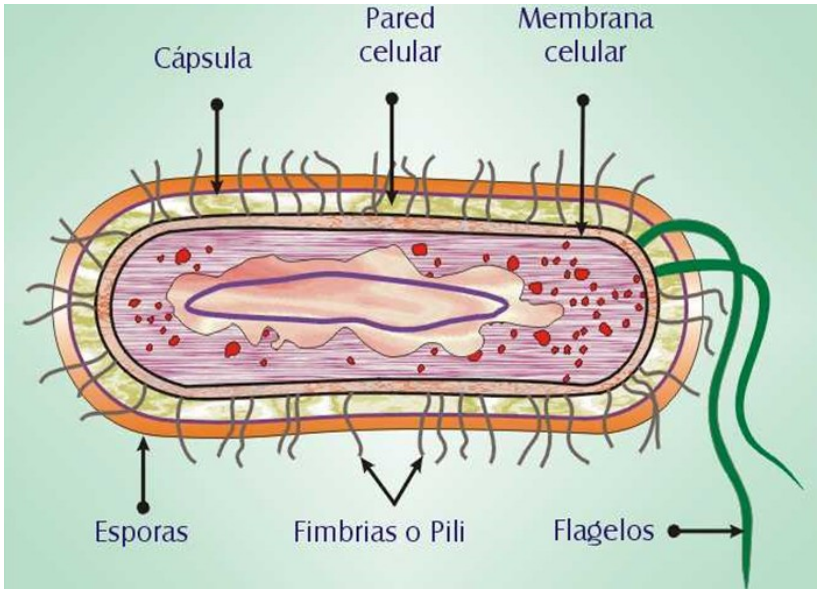
Las principales diferencias son a nivel de organización interna y tamaño:



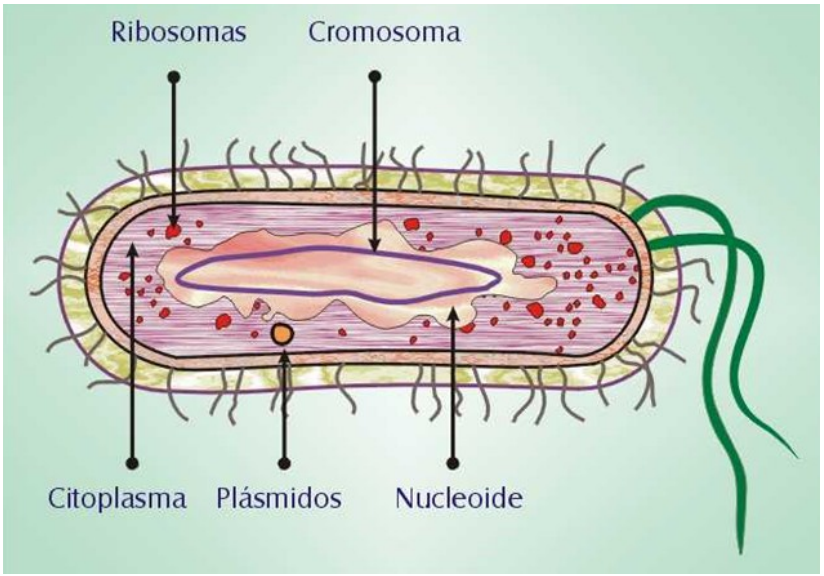
rte de la microscopía óptica y electrónica al conocimiento de las estruct

2. Tipos de estructuras celulares bacterianas:

Externas



Internas



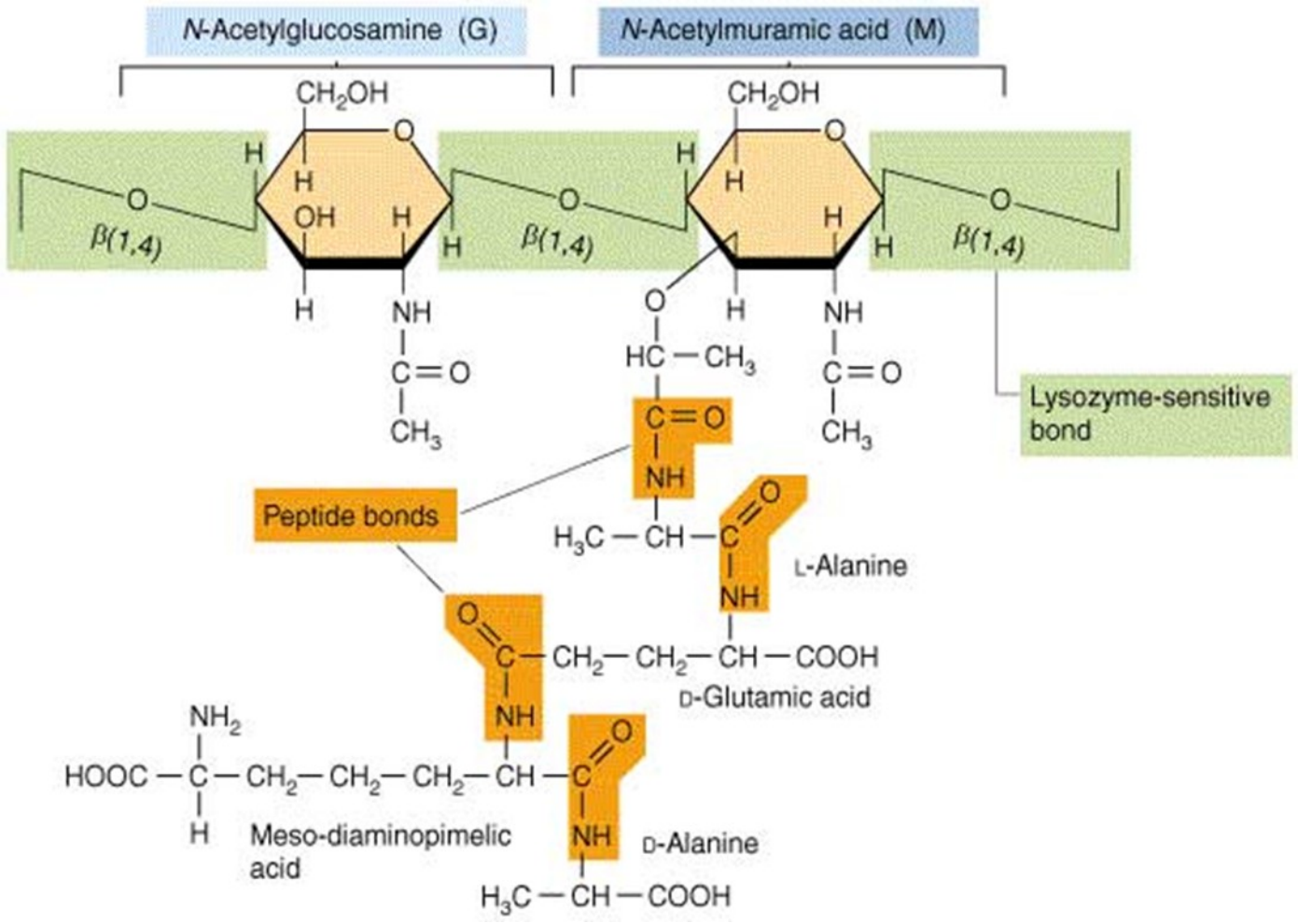
1. Estructuras externas

2.1 Pared celular:

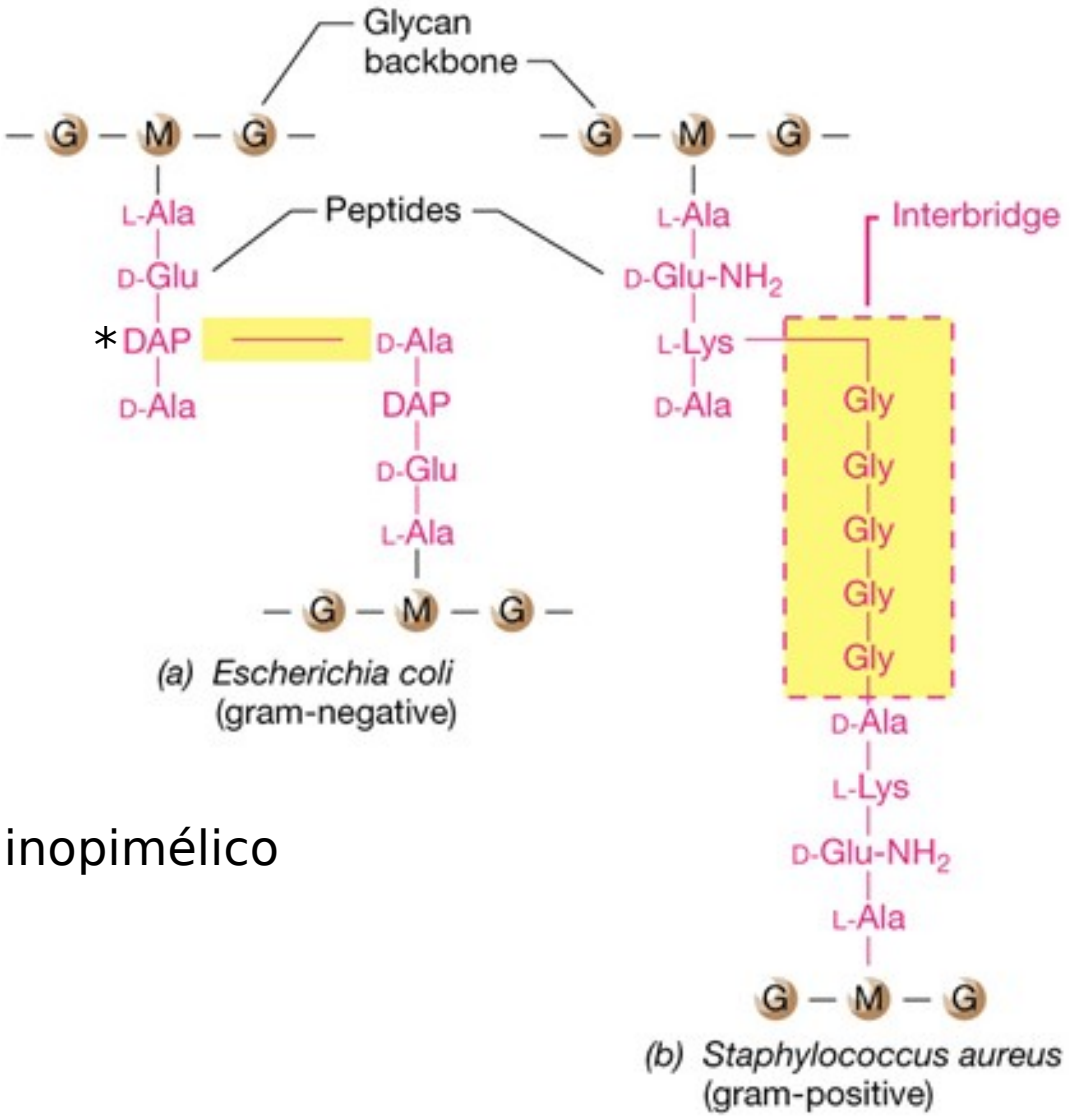
a. Confiere rigidez a la célula bacteriana

Unidad estructural básica del peptidoglicano

Entrecruzamiento entre capas (rigidez)



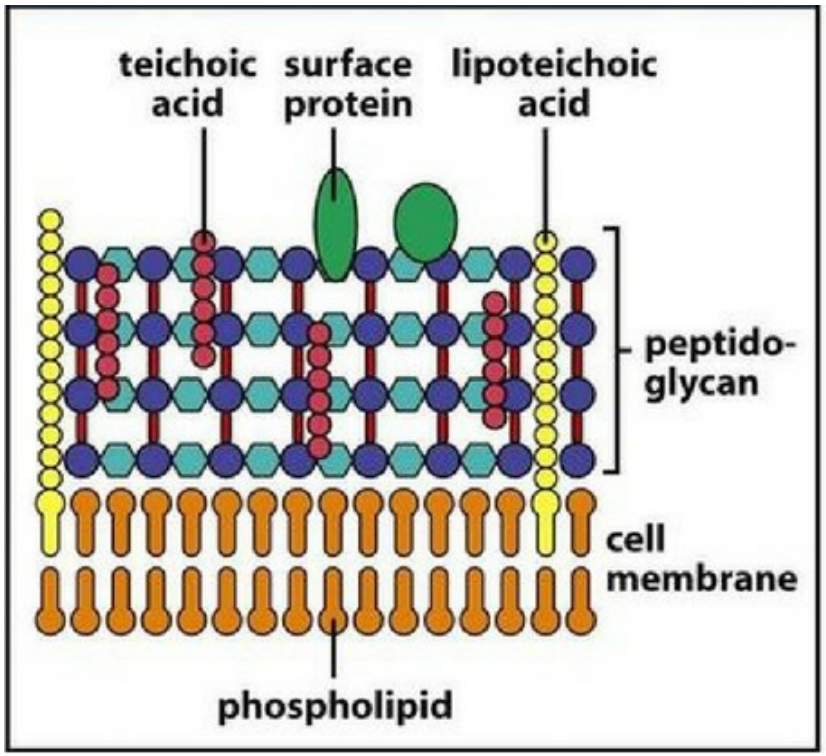
Diferencias entre los puentes intercatenarios que entrecruzan las cadenas de peptidoglicano:

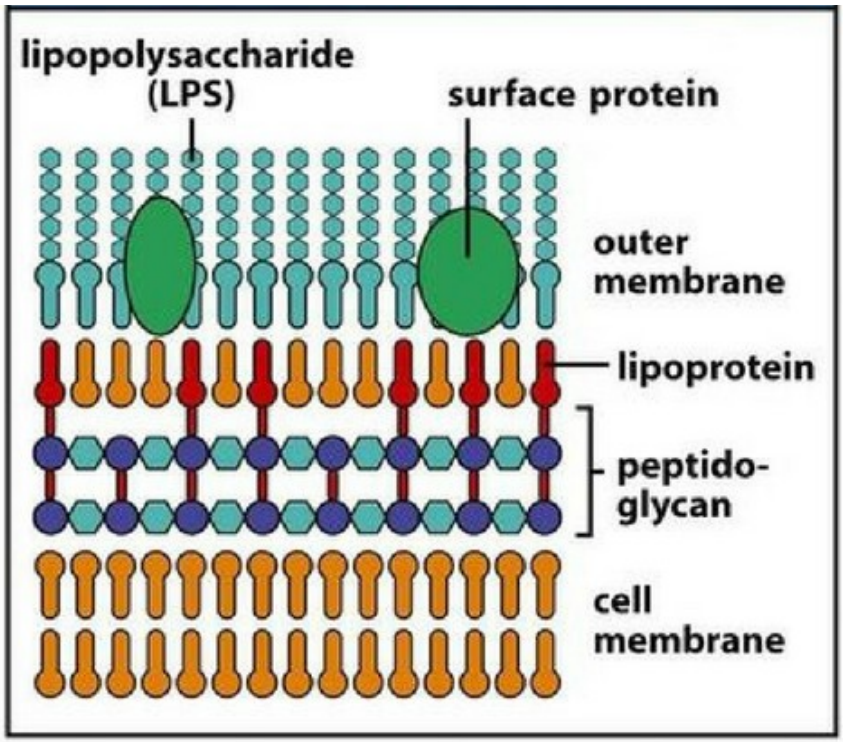


*DAP = Ácido diaminopimélico

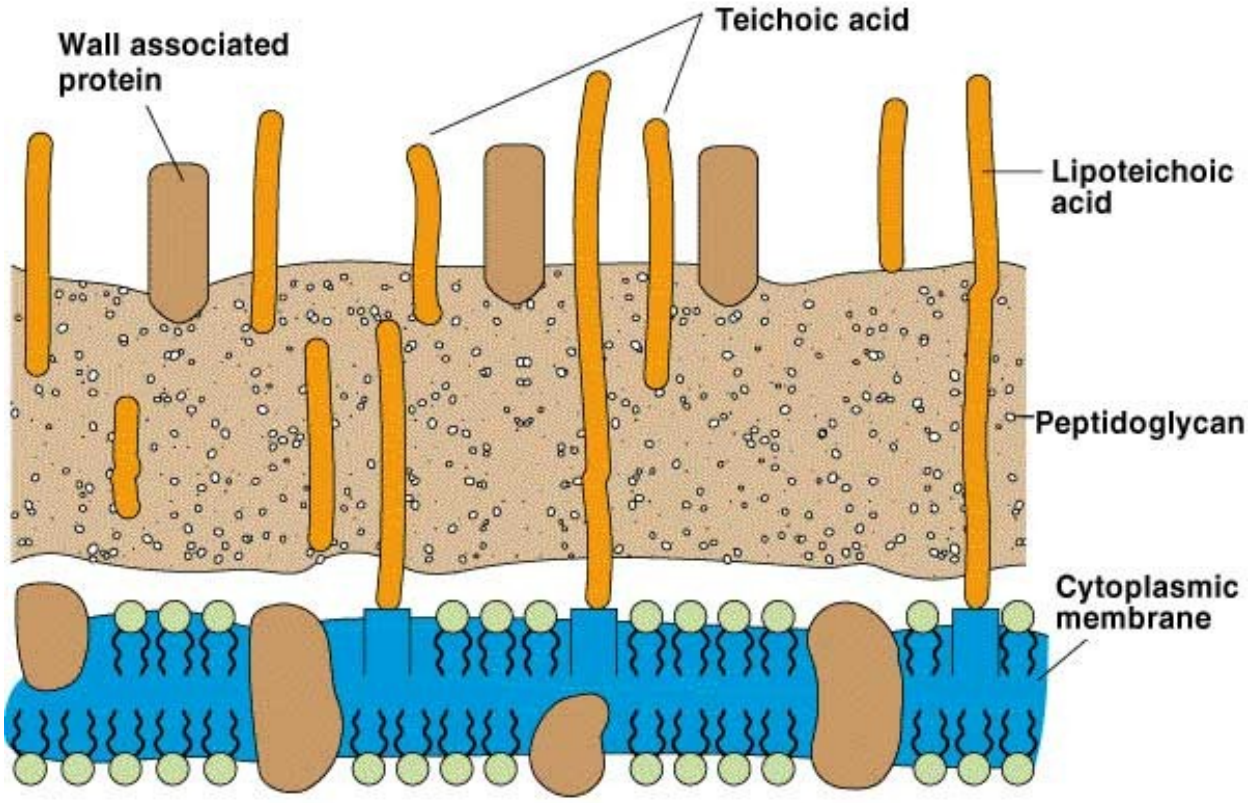
. La pared celular permite clasificar a las bacterias en dos grandes grupos según su respuesta a la tinción de Gram

Gram positivas	Gram negativas
• Pared gruesa sin membrana externa	• Pared delgada rodeada de membrana externa





Pared celular de Gram positivas

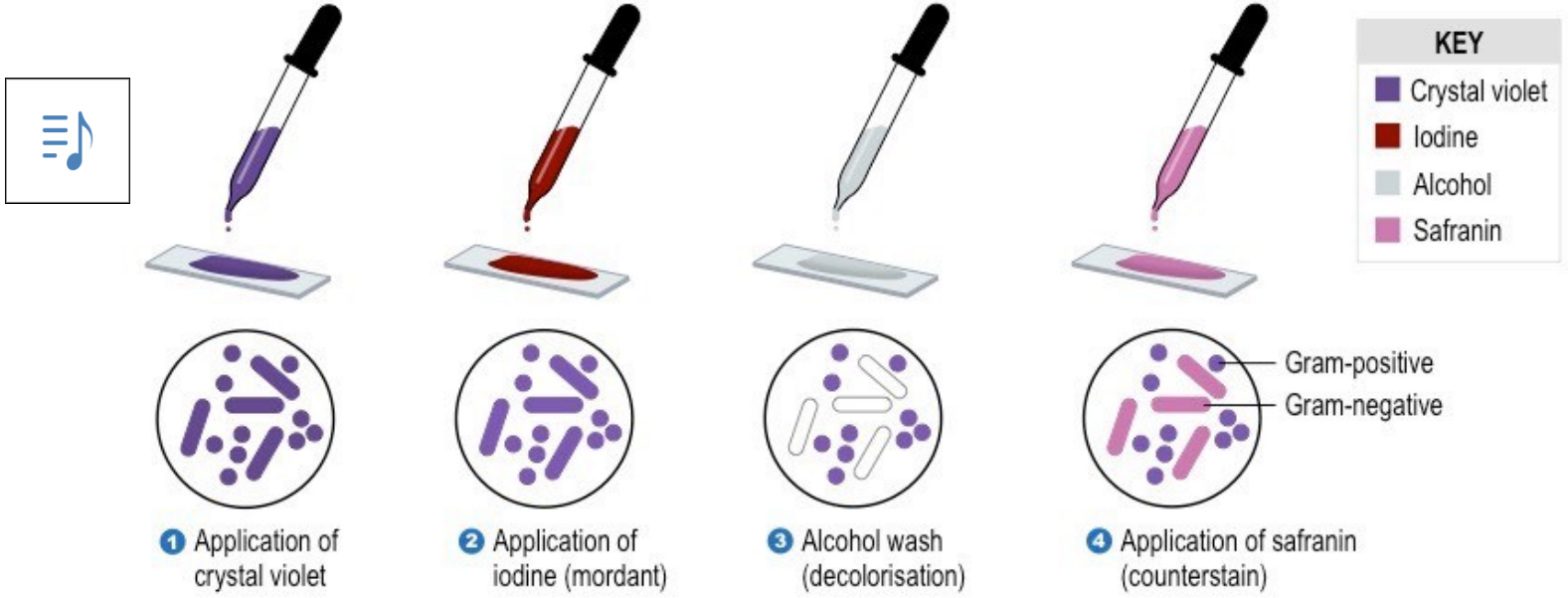


50-80% del peso seco

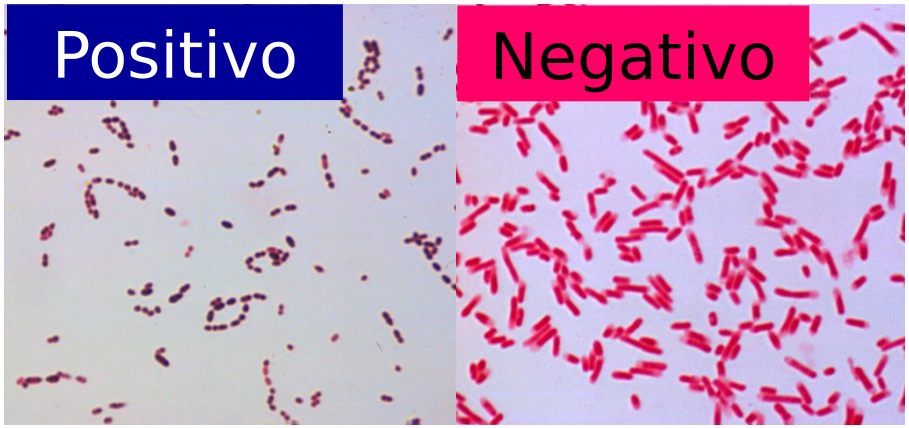
Ácidos teicoicos: polímeros de glicerolfosfato o ribitolfosfato. Se unen covalentemente al ácido murámico y dan carga negativa a la célula. Atraen cationes de calcio y magnesio para su eventual transporte.

Tinción de Gram = Tinción diferencial

Procedimiento:



Resultado:

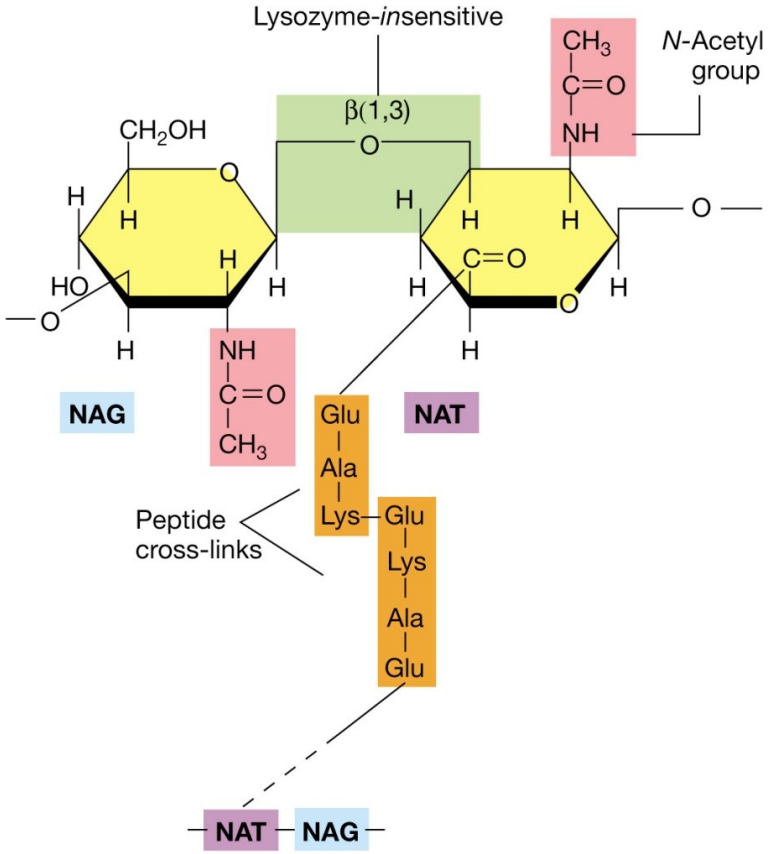


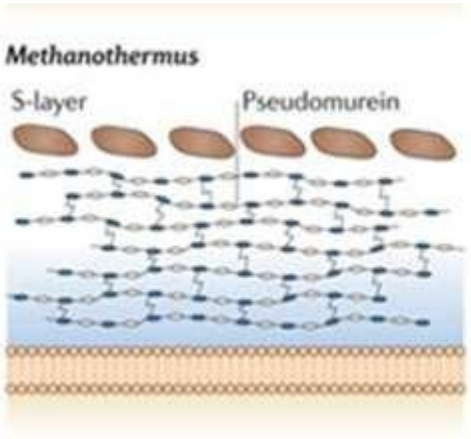
Staphylococcus aureus

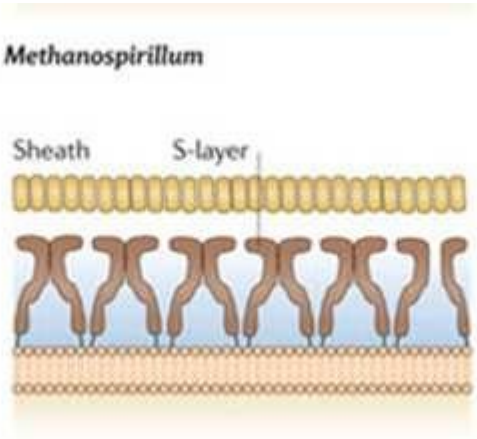
Escherichia coli

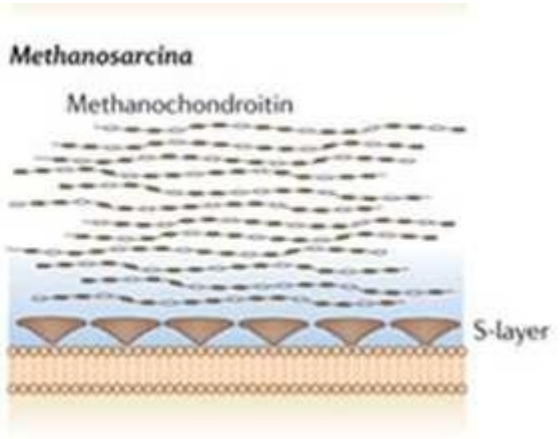
Pared celular de arqueas

- Pseudomureína:
  - N-acetilglucosamina (NAG)
  - N-Acetiltalasaminurónico NAT)
  - Enlaces β(1,3)
- Capas S: capa de aspecto ordenado de proteína o glicoproteína



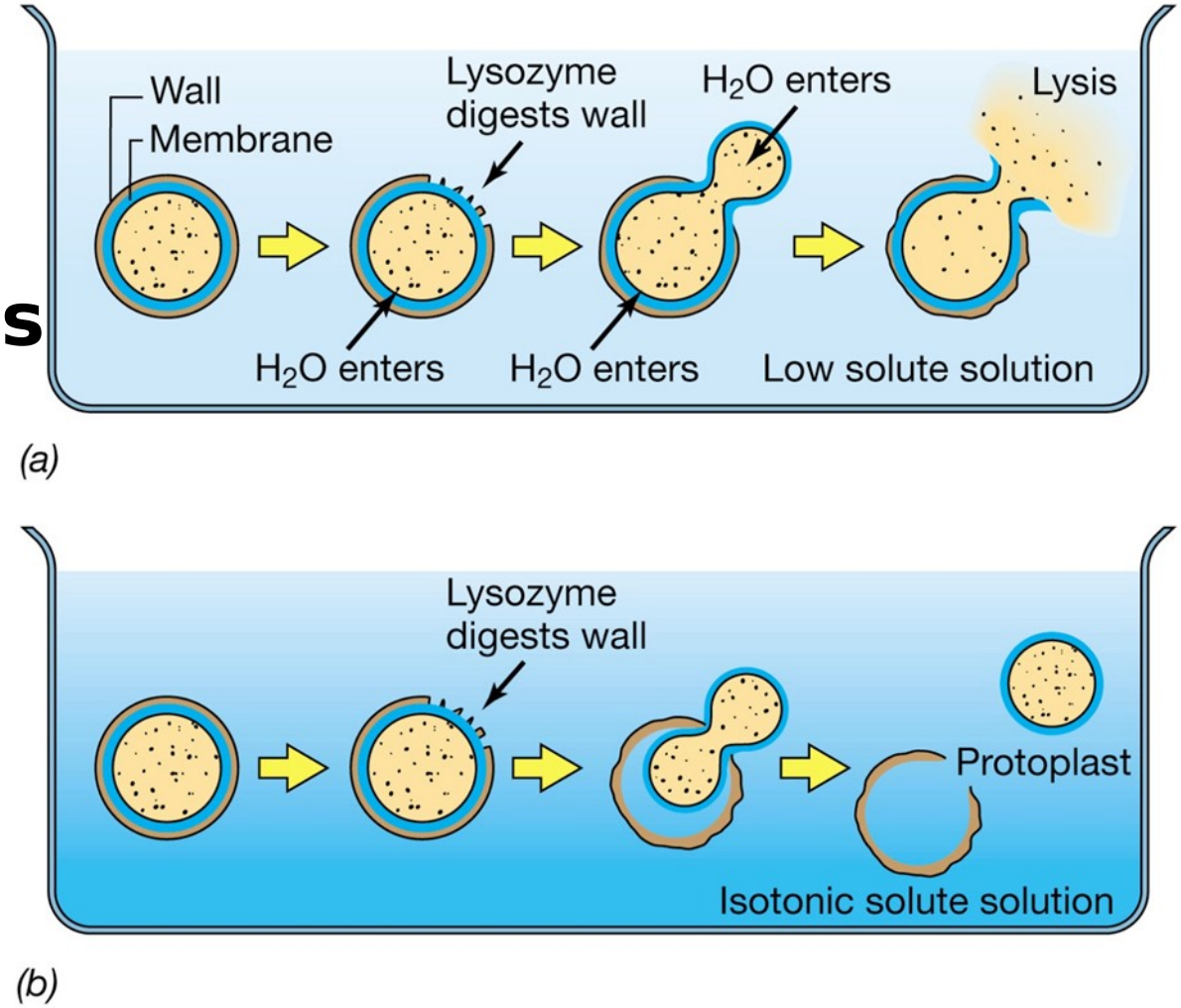






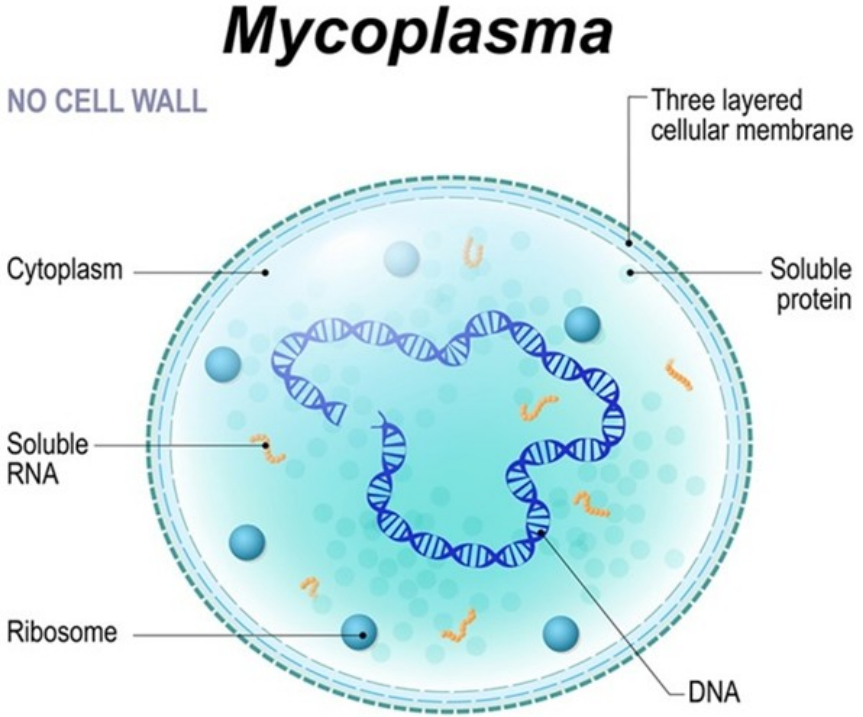
c. La pared celular brinda protección contra la lisis osmótica, principalmente en Gram positivas.

Protoplastos

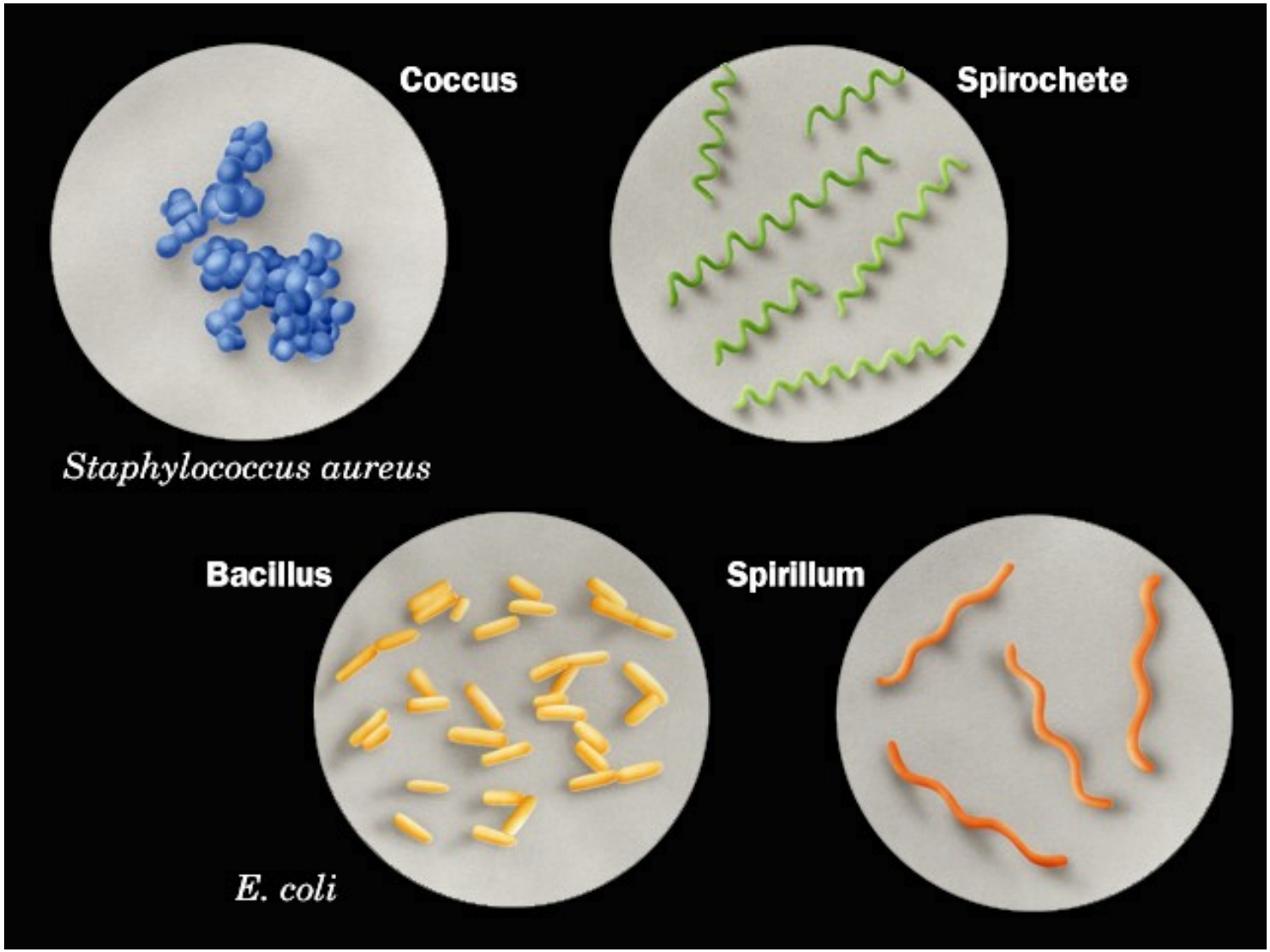


Micoplasmas: bacterias que sobreviven sin pared celular

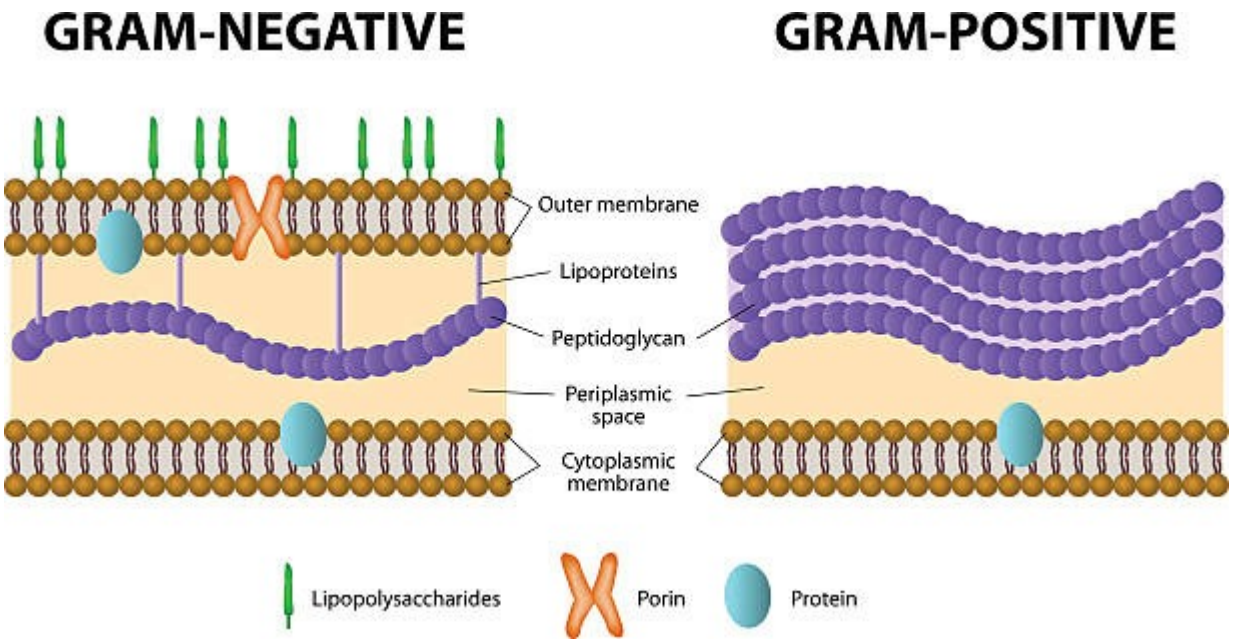
- Protoplastos
- Generalmente viven en ambientes osmóticamente protegidos
- Muchos son patógenos intracelulares
- Presentan una membrana citoplasmática muy gruesa
- Membrana plasmática contiene esteroles



d. La pared celular contribuye a la morfología bacteriana



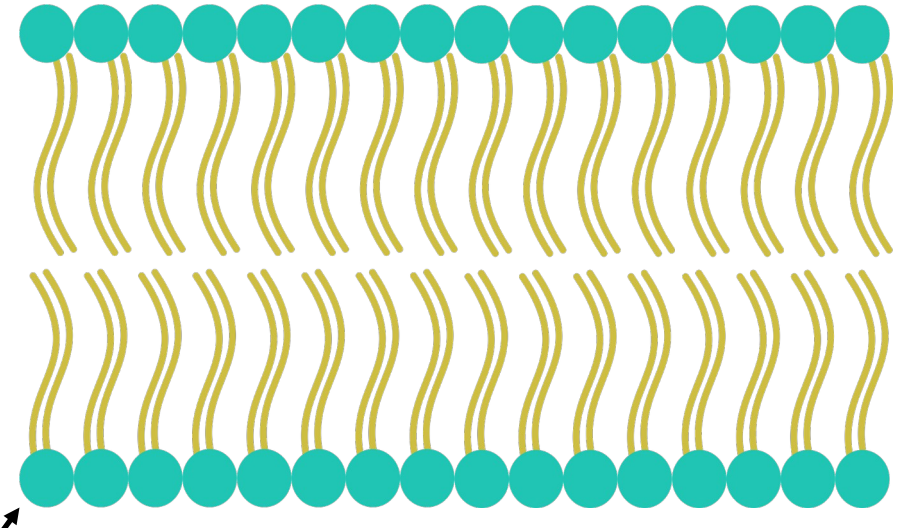
Espacio periplásmico



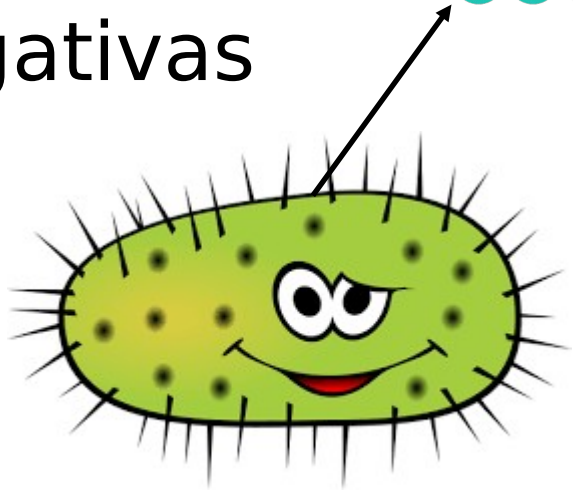
- Generalmente contiene:
  - Enzimas
  - Complejos proteicos de transporte
  - Materiales de secreción
  - Componentes de envoltura celular recién sintetizados
  - Glicanos osmoreguladores

2.2 Membrana:

2.2.1 Membrana citoplasmática



2.2.2 Membrana externa en Gram negativas



4.2.1 Membrana citoplasmática:

a) Bicapa de fosfolípidos que rodea al citoplasma y funciona como una barrera de permeabilidad, evitando la pérdida pasiva de componentes del citoplasma, así como la entrada de algunas sustancias

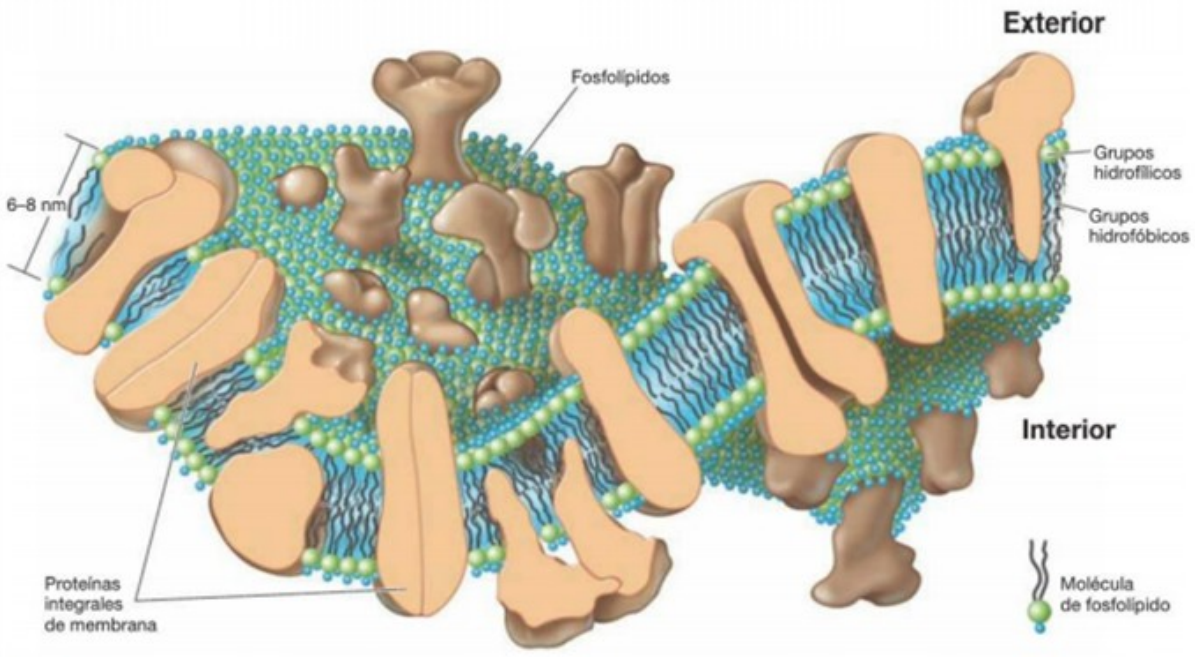


Figura 4.5 **Estructura de la membrana citoplasmática.** La superficie interna se orienta hacia el citoplasma y la externa hacia el

b) Función de transporte:

- Pocas sustancias difunden a través de la membrana citoplásmica
- Las membranas citoplasmáticas de los procariotas presentan al menos tres sistemas de transporte: el transporte simple, la translocación de grupo y el sistema ABC.

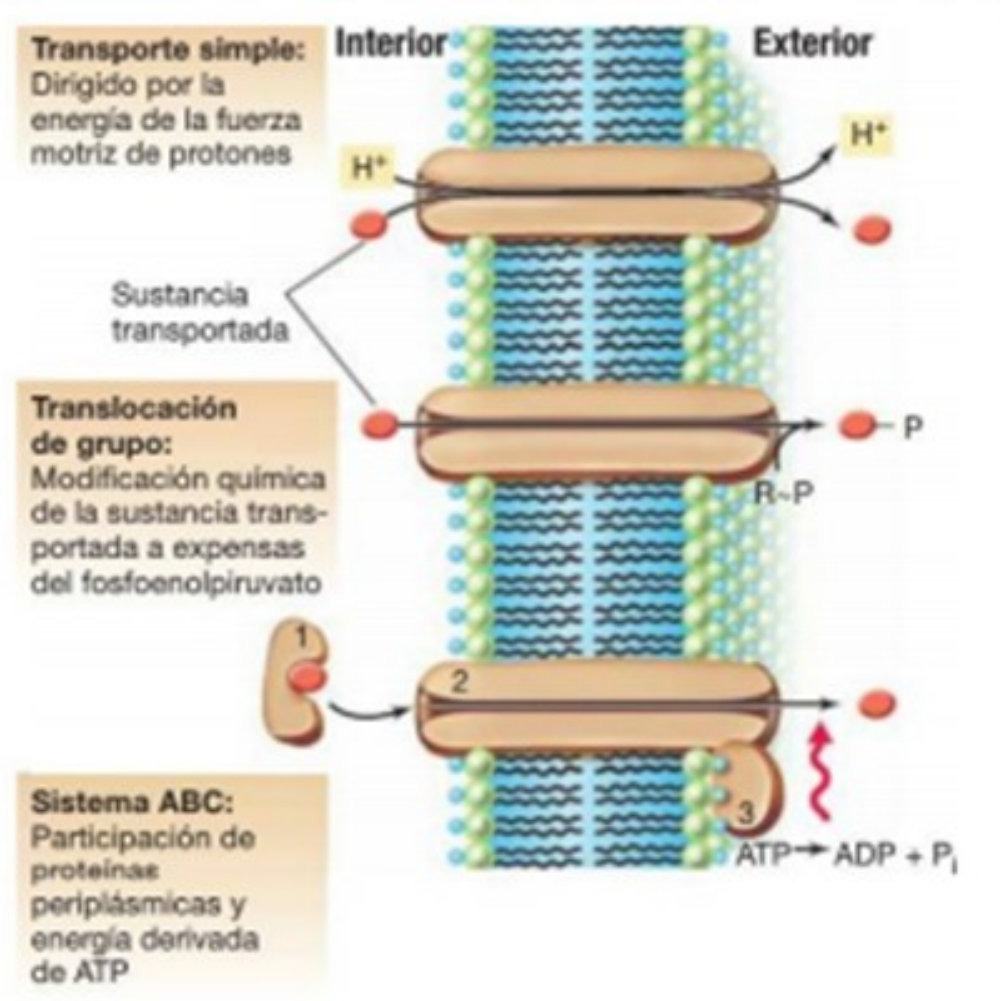
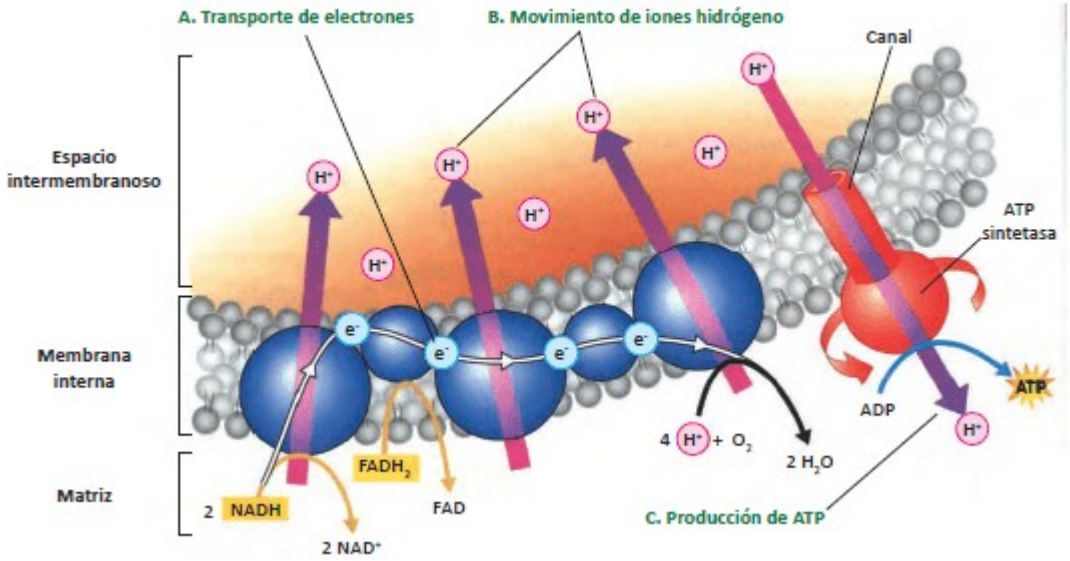


Figura 4.11 **Las tres clases de sistemas de transporte de membrana.** El transporte simple y el sistema ABC transportan

c) Función de generación de energía:

- La membrana puede tener una separación de protones (H+) e iones hidroxilo (OH-) que es una forma de energía similar a la energía potencial presente en una batería.
- Tal estado energético de la membrana, que se conoce como fuerza motriz de protones, es responsable del mantenimiento de muchas funciones celulares que requieren energía, como algunas formas de transporte, la movilidad (ej. flagelos, se verá más adelante) y la síntesis de ATP.



d) Función de anclaje de proteínas:

- Proteínas integrales de membrana que ayudan a la estabilidad estructural
- Proteínas periféricas
- Proteínas que forman parte de complejos de transporte
- Proteínas o enzimas que participan en generación de energía, etc.
- Proteínas de los flagelos, se retomará más adelante

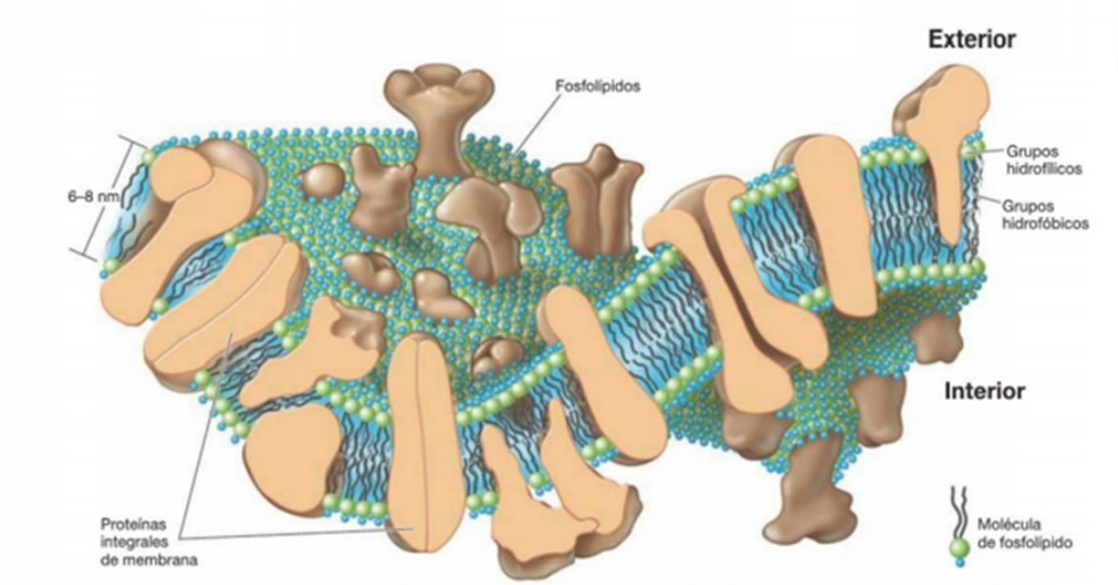
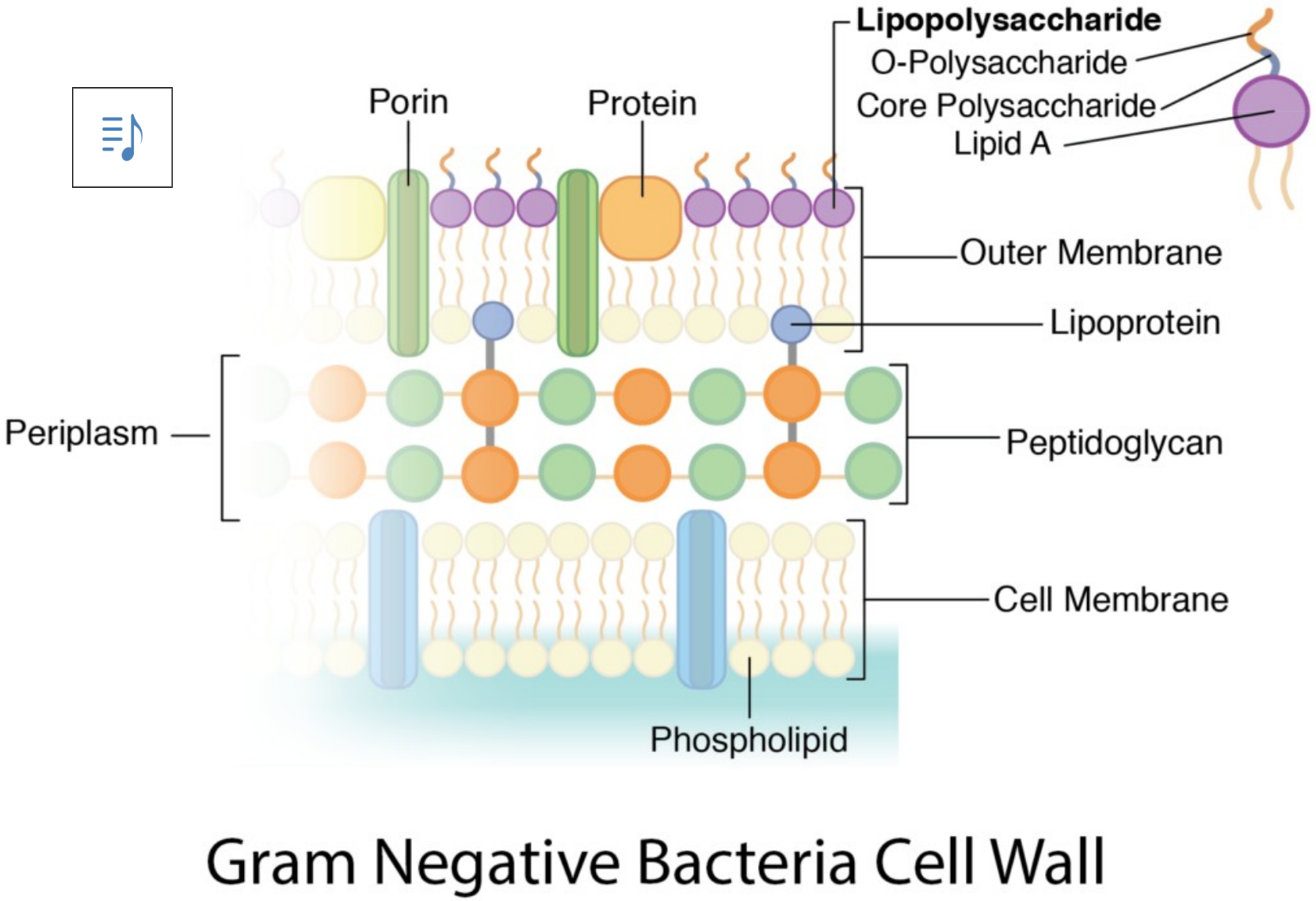


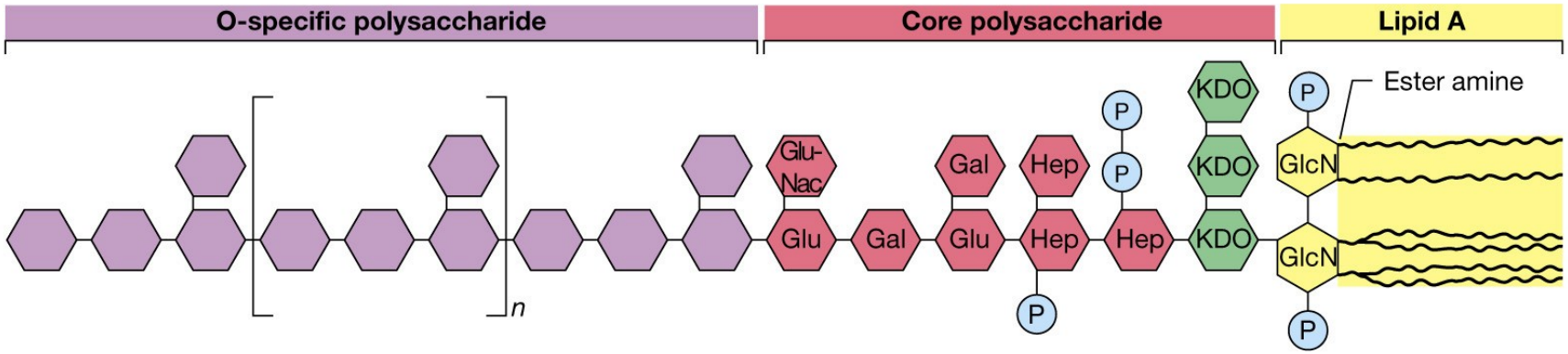
Figura 4.5 **Estructura de la membrana citoplasmática.** La superficie interna se orienta hacia el citoplasma y la externa hacia el

2.2.2 Membrana externa en Gram negativas:



Lipopolisacárido (LPS)

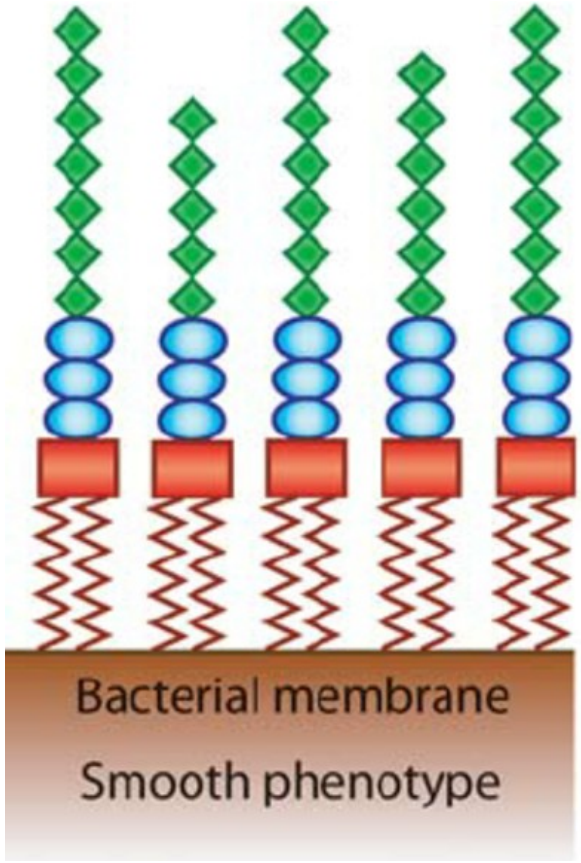
- Confiere a la membrana externa menor fluidez y por lo tanto de la mayor resistencia física (protección contra algunos antibióticos, solventes orgánicos y detergentes)

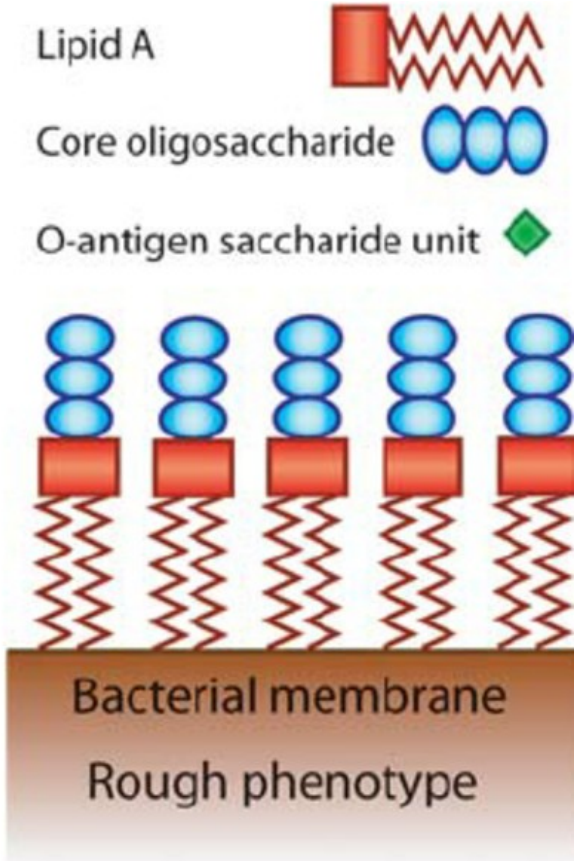


Antígeno O: es esencial para la interacción entre la bacteria y el hospedero porque es la porción más externa

Núcleo polisacárido

Antígeno O

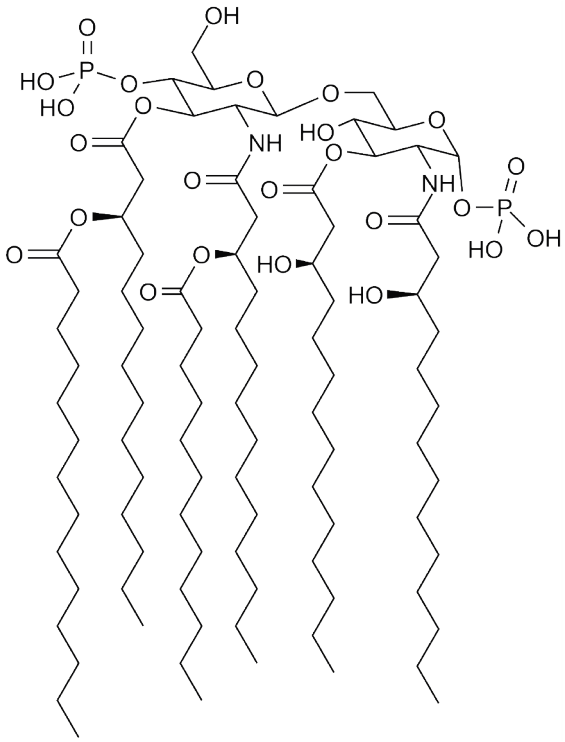




Algunas bacterias Gram negativas carecen de antígeno O = rugosas

unciones del lípido A

- Posee actividad de **endotoxina** y se asocia a síntomas patológicos específicos como:
  - Pirogenicidad (inducción de fiebre)
  - Hipotensión (presión baja)
  - Necrosis de tejidos
  - En casos graves, muerte por fallo cardiaco
- El sistema inmune se defiende, reconociendo el LPS y activando un mecanismo de defensa conocido como "**cascada del complemento**", que puede ocasionar la lisis de la bacteria e incrementar la fagocitosis

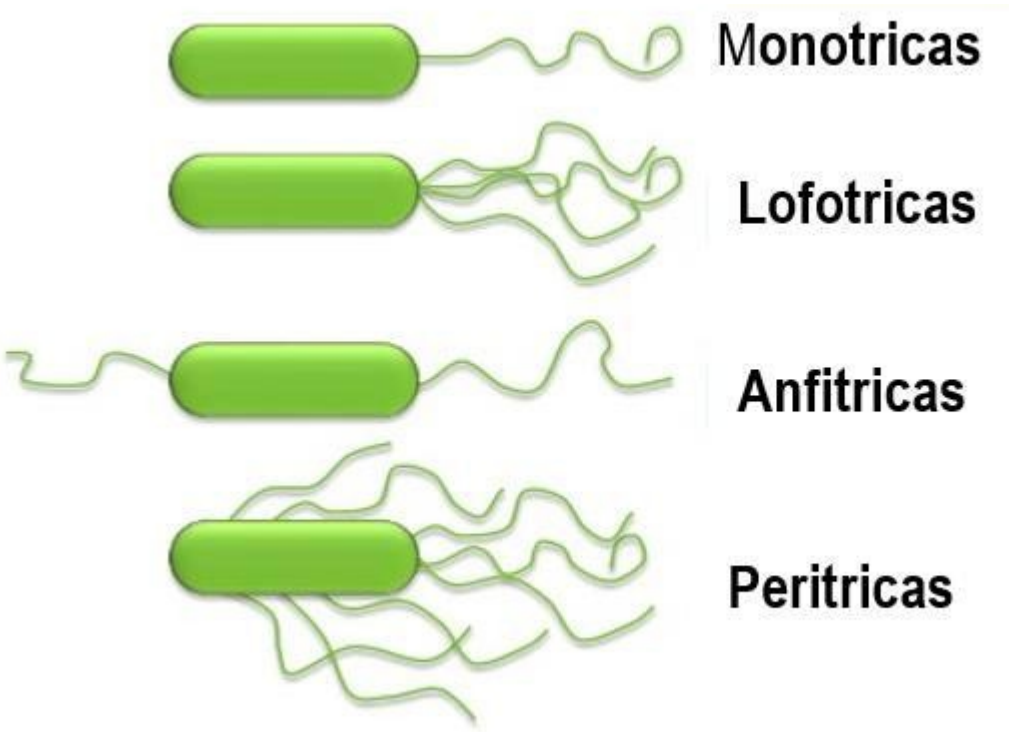


Hay variaciones en el número y la longitud de las cadenas de ácidos grasos y en el número de grupos fosfato

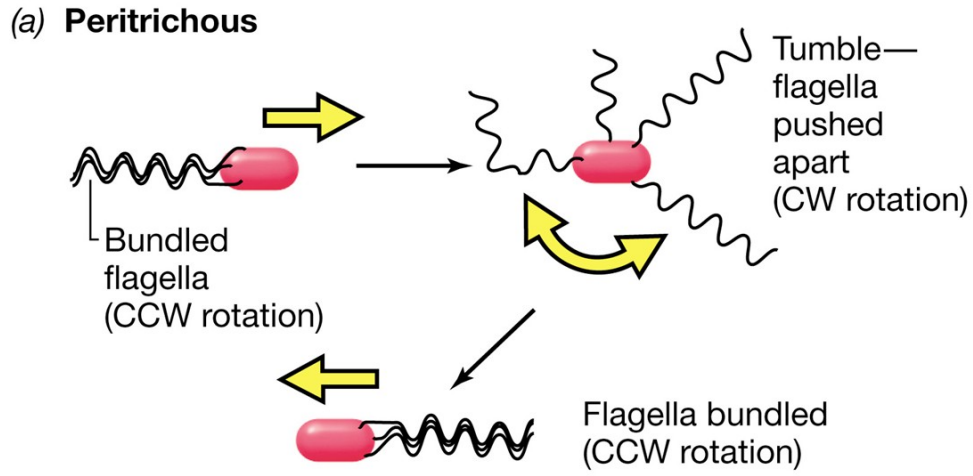
2.3 Flagelos:

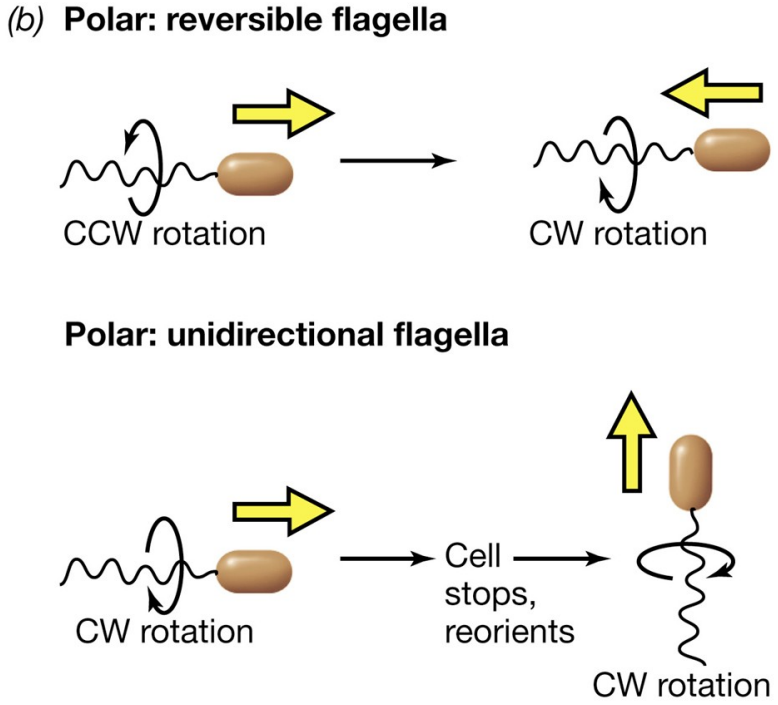
- Son estructuras de locomoción

- Clasificación según número y distribución de flagelos:



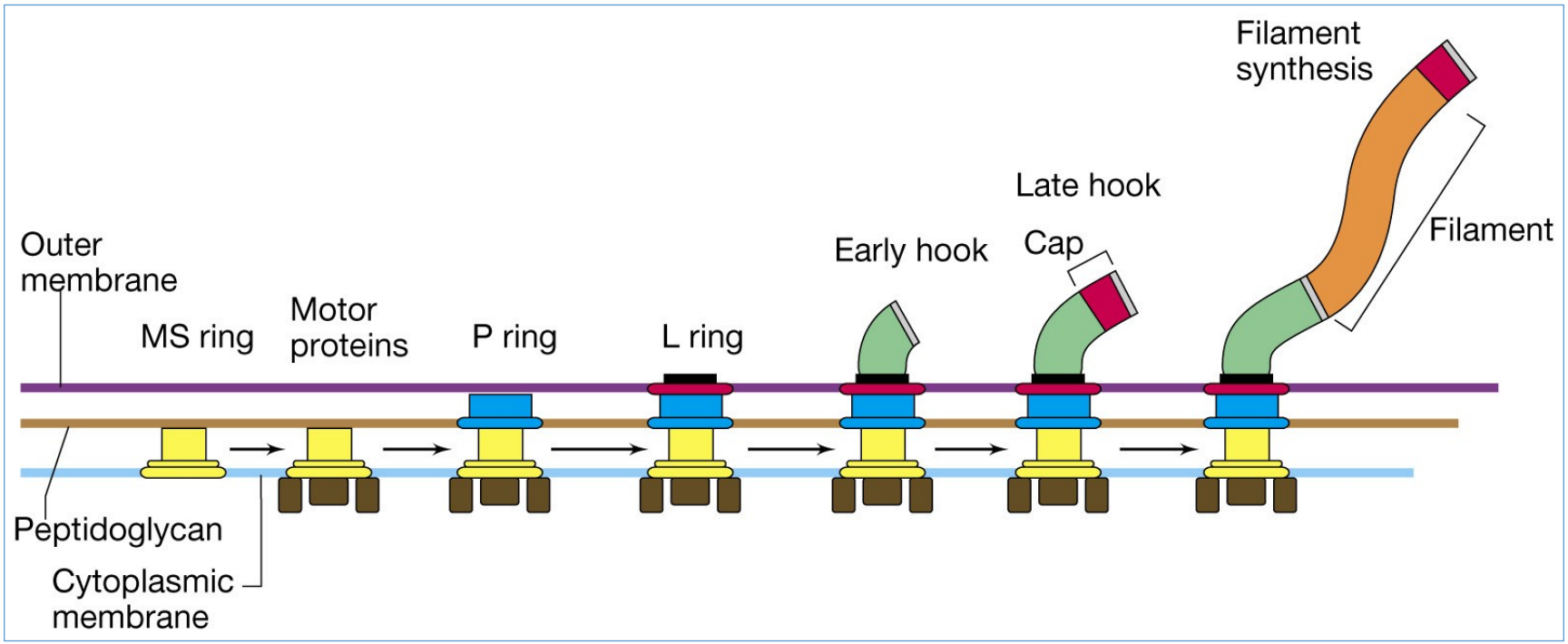
Los flagelos pueden hacer diferentes tipos de rotaciones que influyen en la dirección del movimiento



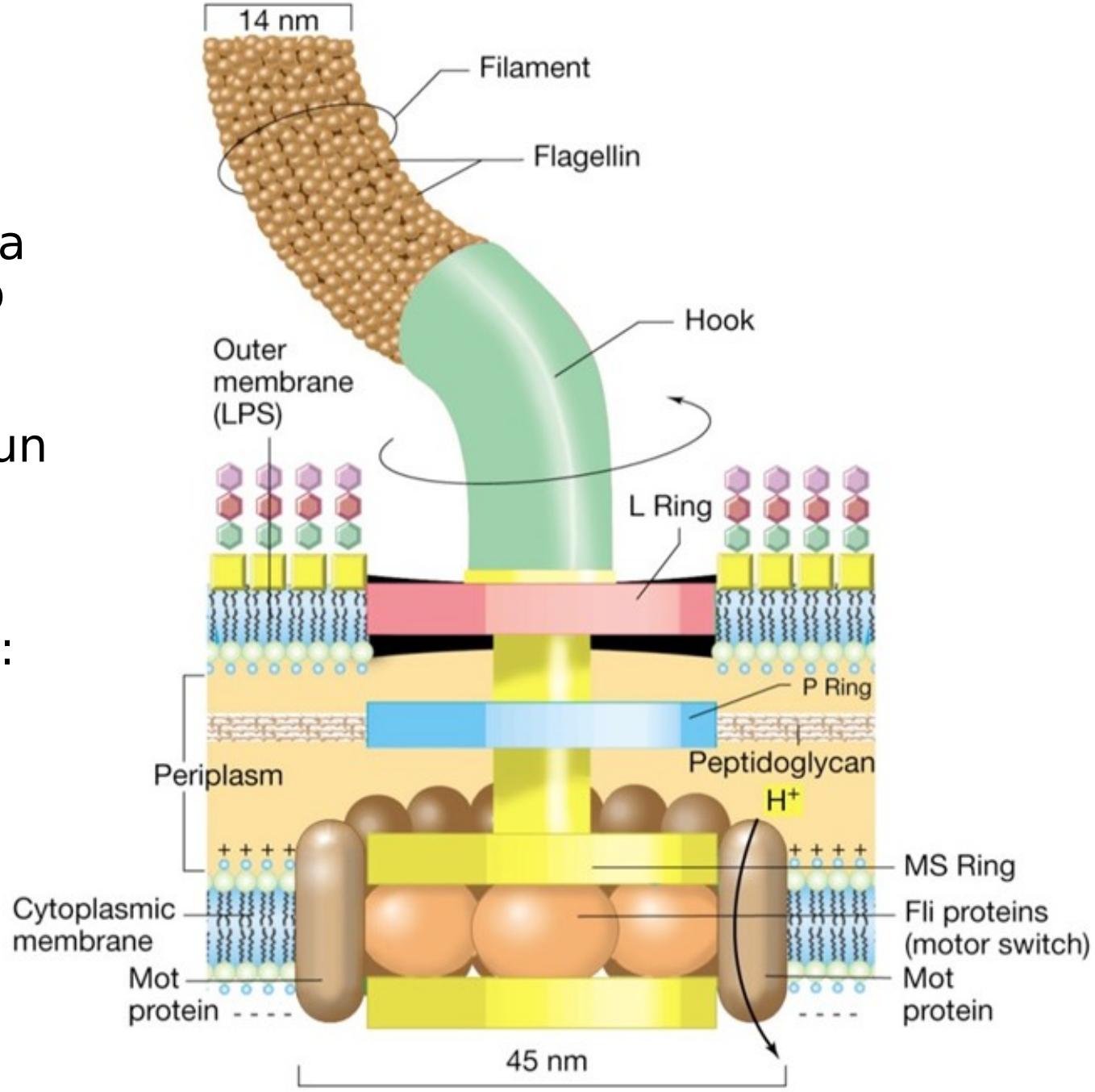


La cantidad de flagelos también influye en la velocidad del movimiento

Proceso de síntesis flagelar en una bacteria Gram negativa

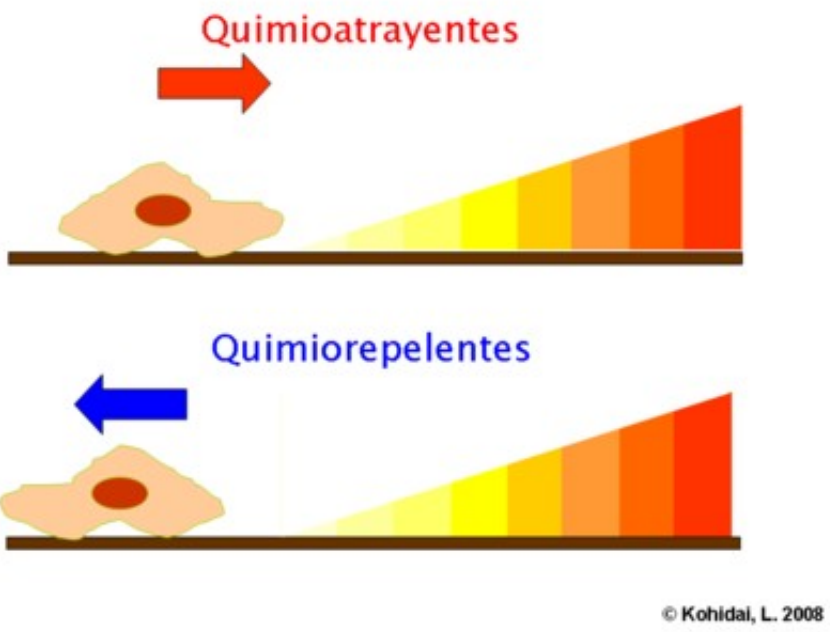


La energía para su movimiento proviene de la fuerza motriz generada por un gradiente de protones en la membrana citoplasmática:

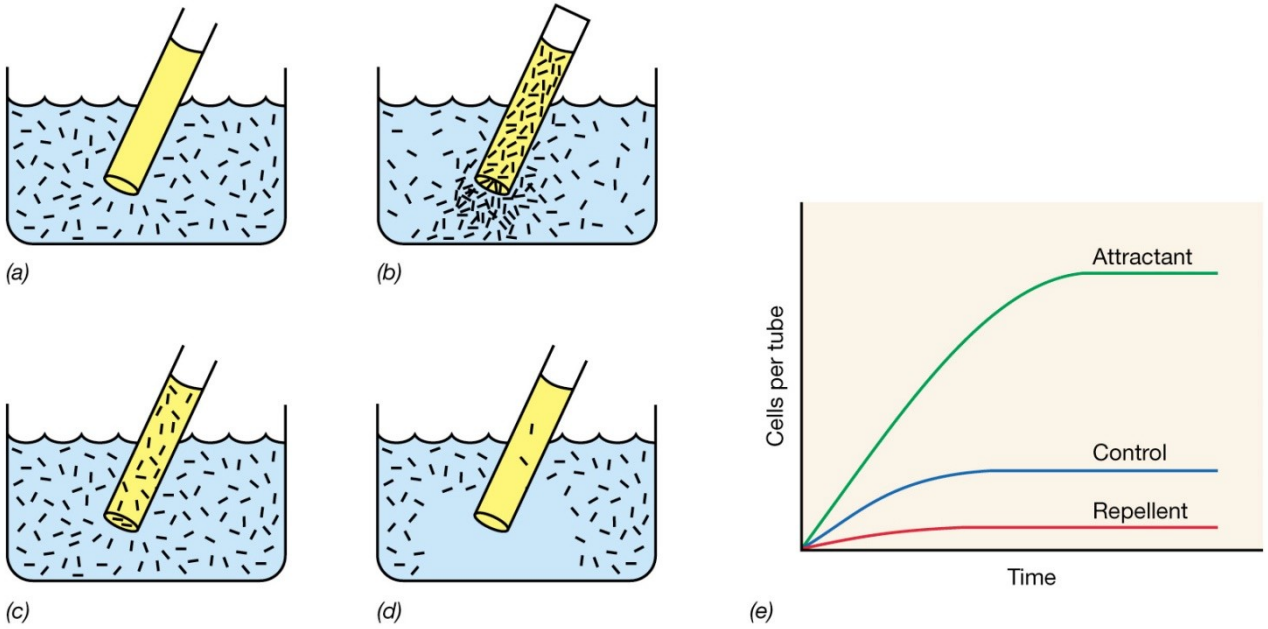


Taxias

- Movimientos en respuestas a diferentes gradientes de agentes químicos y físicos externos a la célula bacteriana
- Pueden ser de diferentes tipos
  - Quimiotaxia: compuestos químicos
  - Fototaxia: hacia la luz
  - Escotofobotaxia: huye de la luz



étodo para estudiar las quimiotaxis



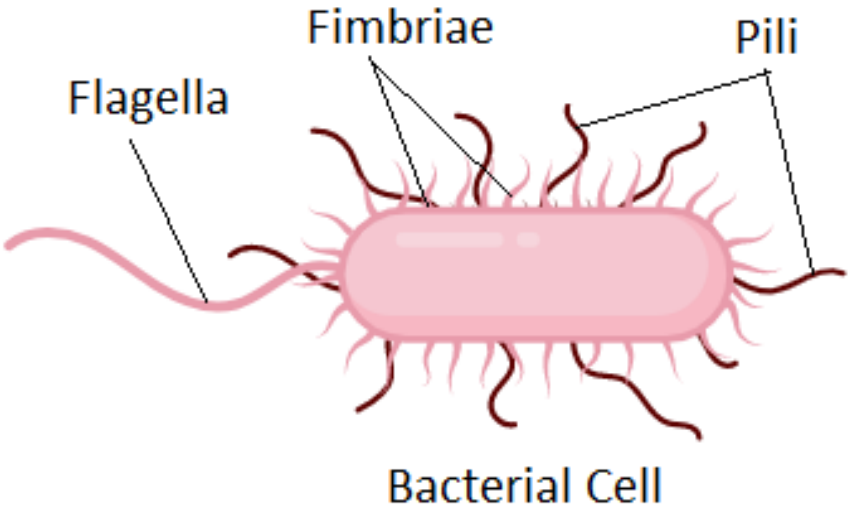
a. Inserción de un capilar que da inicio al gradiente
b. Acumulación de bacterias en el capilar que contiene el atrayente
c. Control con solución salina que no atrae ni repele
d. Repulsión de bacterias por agente repelente
e. Cuantificación de las bacterias en el capilar

2.4 Otras estructuras de la superficie bacteriana:

2.4.1 Fimbrias

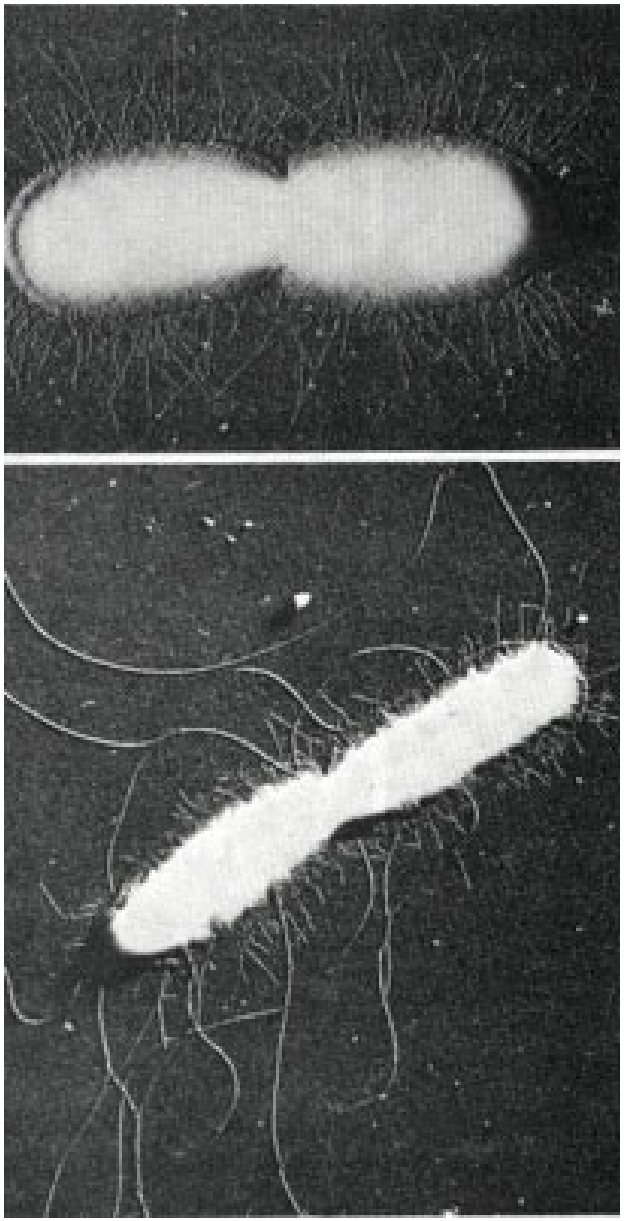
2.4.2 Pili

2.4.3 Cápsulas



2.4.1 Fimbrias:

- Son estructuras similares a los flagelos
- No participan en la motilidad
- Son más numerosas y cortas
- Función: fijación a superficies.
- Relación con patogenicidad.
- Ejemplos:
  - *Neisseria gonorroeae* en epitelio urogenital.
  - *Escherichia coli* en tracto urinario



2.4.2 Pili:

- Similares a las fimbrias
- Más largos, menos numerosos
- Participan en el intercambio de información genética por conjugación

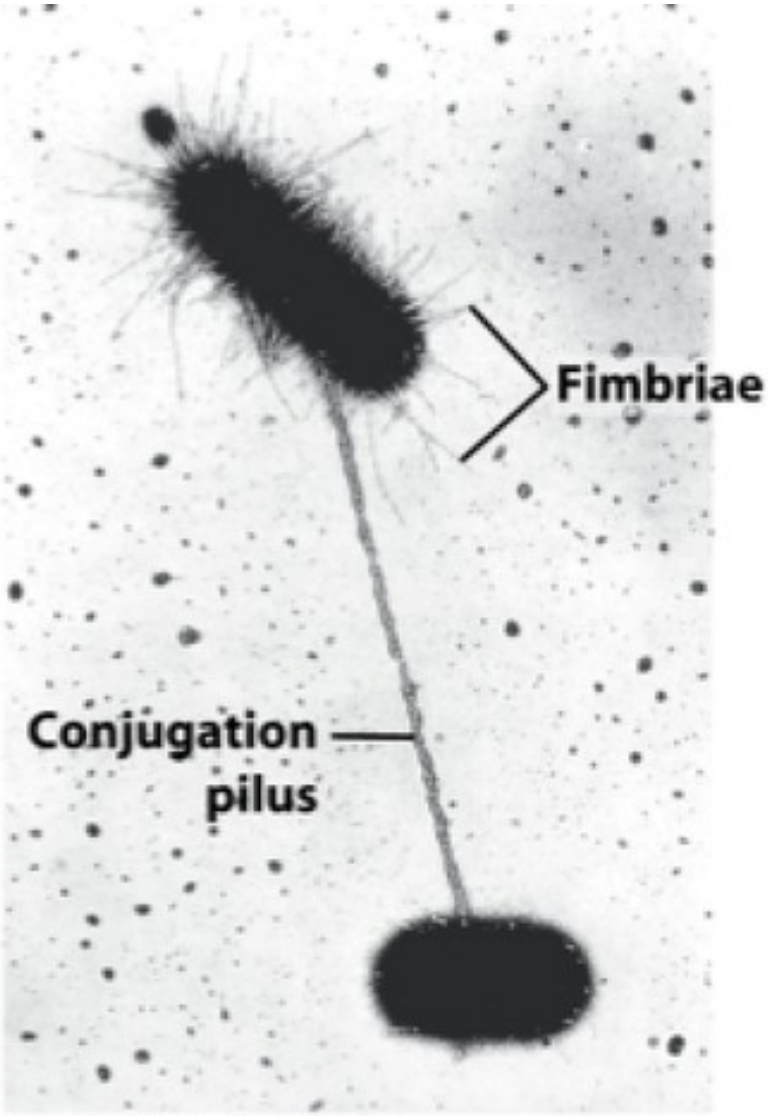
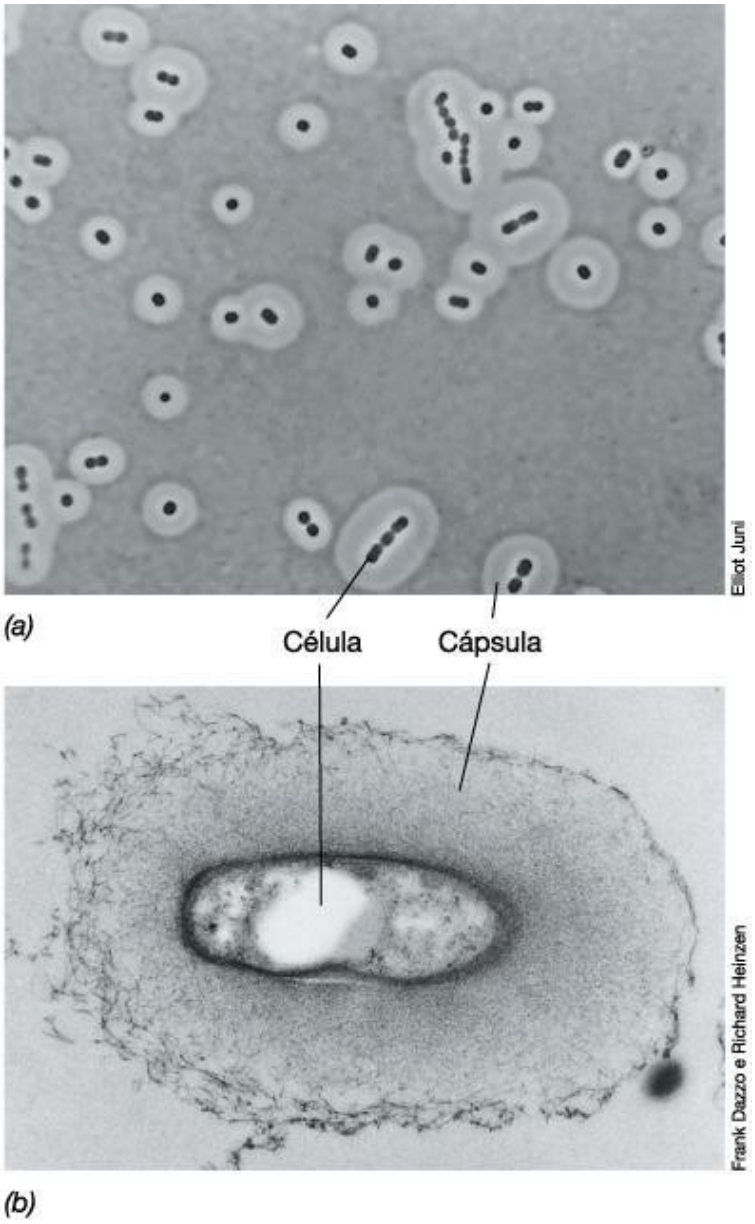


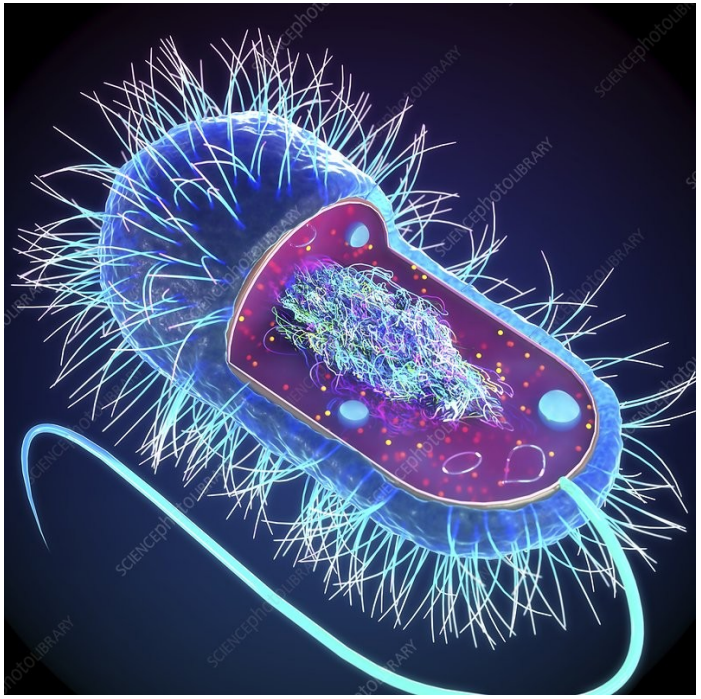
Figure 4-16 Microbiology, 6/e
© 2005 John Wiley & Sons

2.4.3 Cápsulas:

- Conocidas también como glicocáliz
- Es una capa externa de polisacáridos secretados a la superficie
- Espesor variable
- Rígido o flexible
- Función de adherencia de patógenos a superficie celular del hospedero
- Resistencia a la fagocitosis y desecación



2.5 Estructuras internas:



2.5.1 Cuerpos de inclusión

2.5.2 Magnetosomas

2.5.3 Vesículas de gas

2.5.4 Endosporas

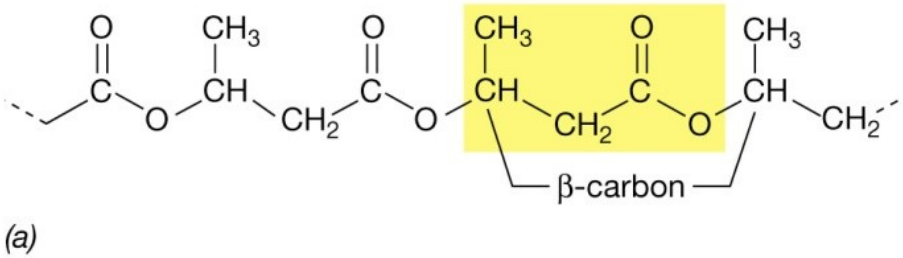
2.5.5 Ácidos nucleicos

2.5.1 Cuerpos de inclusión:

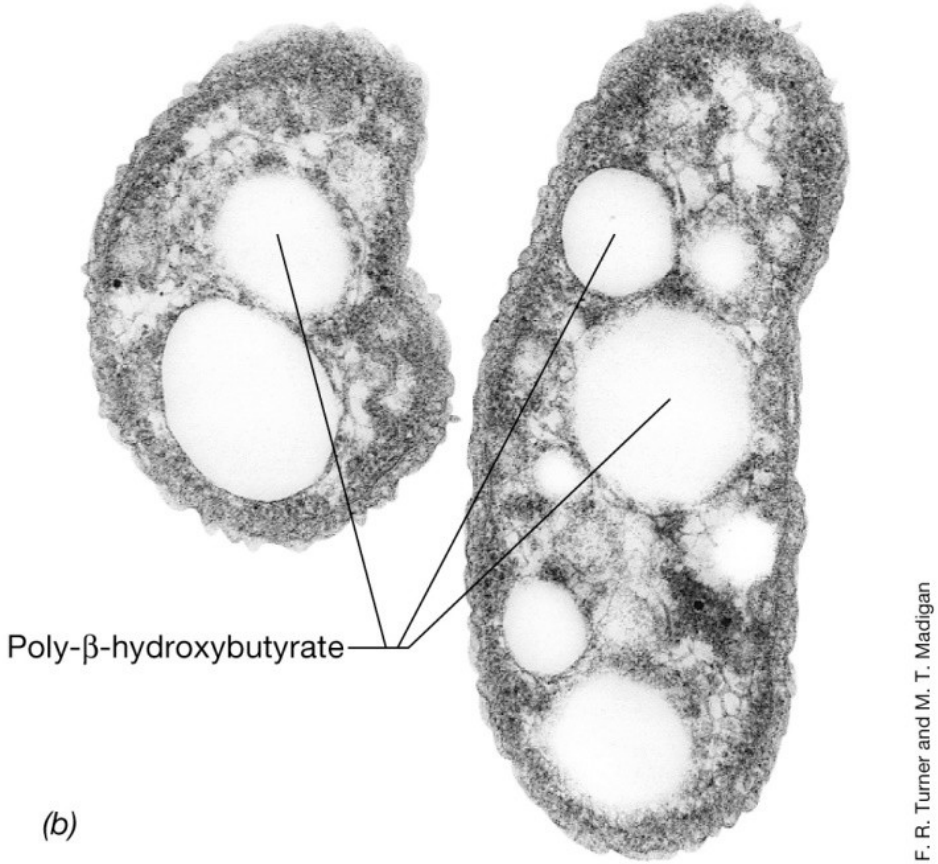
- Estructuras de almacenamiento de sustancias de reserva

Ej. polihidroxibutirato (PHB) o ácido polihidroxibutírico

Aplicaciones biotecnológicas



(a)



(b)

F. R. Turner and M. T. Madigan

.5.2 Magnetosomas:

Presentes en bacterias magnetotácticas, están compuestas de Fe_3O_4, Fe_3S_4, FeS_2

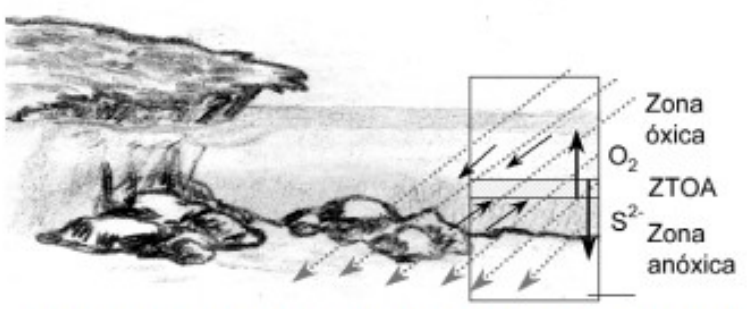
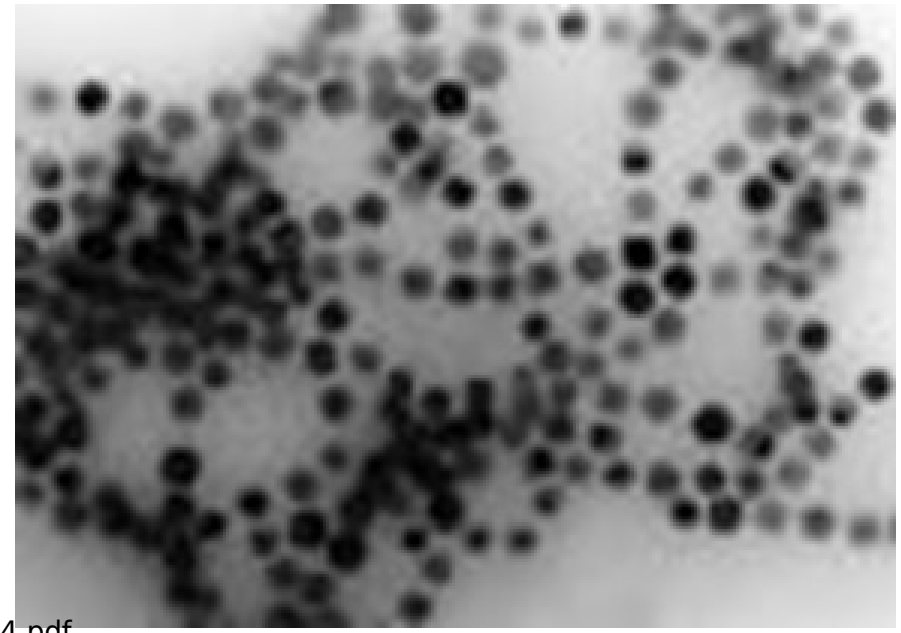


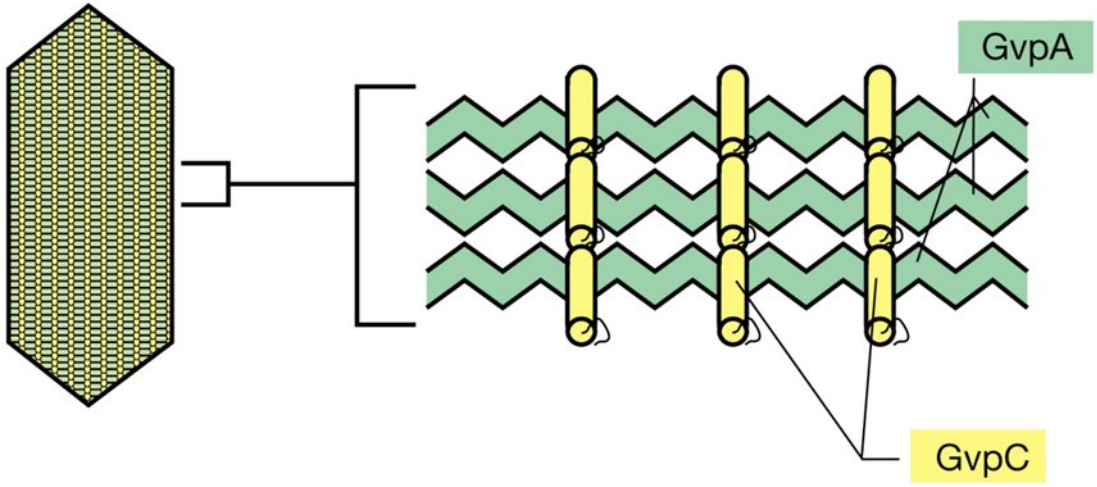
Fig. 1. Zona de transición oxi-anóxica (ZTOA) en una columna de agua. El campo geomagnético está representado por las flechas discontinuas. Las bacterias magnetotácticas se alinearían con el campo magnético y nadarían hacia arriba o hacia abajo para alcanzar la concentración óptima de oxígeno próxima a la zona ZTOA (flechas inclinadas).



http://crinoidea.semicrobiologia.org/pdf/actualidad/SEM29_14.pdf

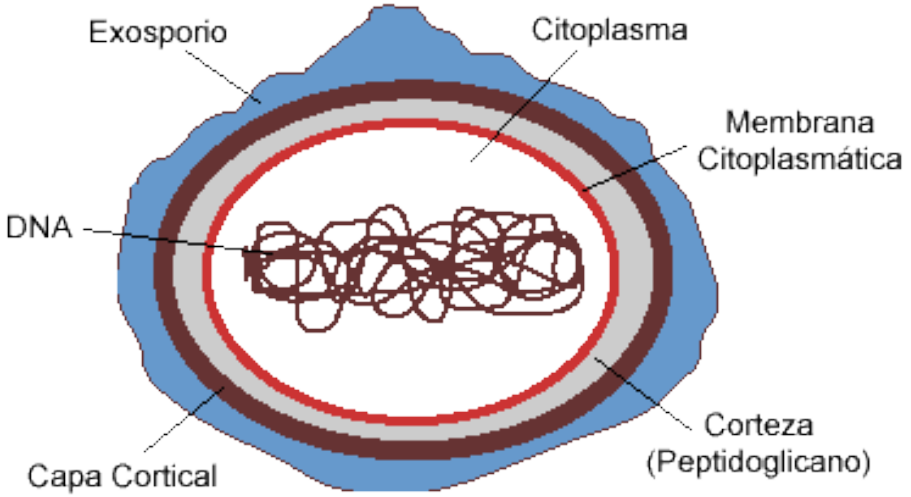
2.5.3 Vesículas de gas:

- Responsables de la flotabilidad de bacterias
- Compuestas de una membrana proteica impermeable al agua pero permeable a ases

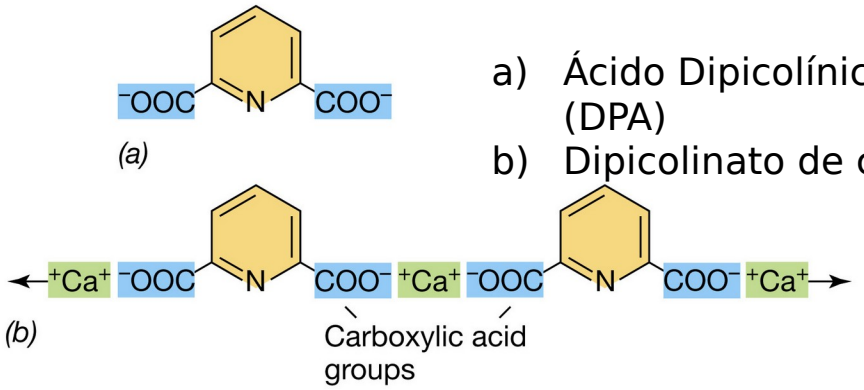


2.5.4 Endosporas:

- Son células diferenciadas
- Extraordinariamente resistentes al calor y difíciles de destruir
- También son resistentes a desecación, radiación, desinfectantes, lisozima
- Gran transcendencia para el desarrollo de nuevas formas de esterilización

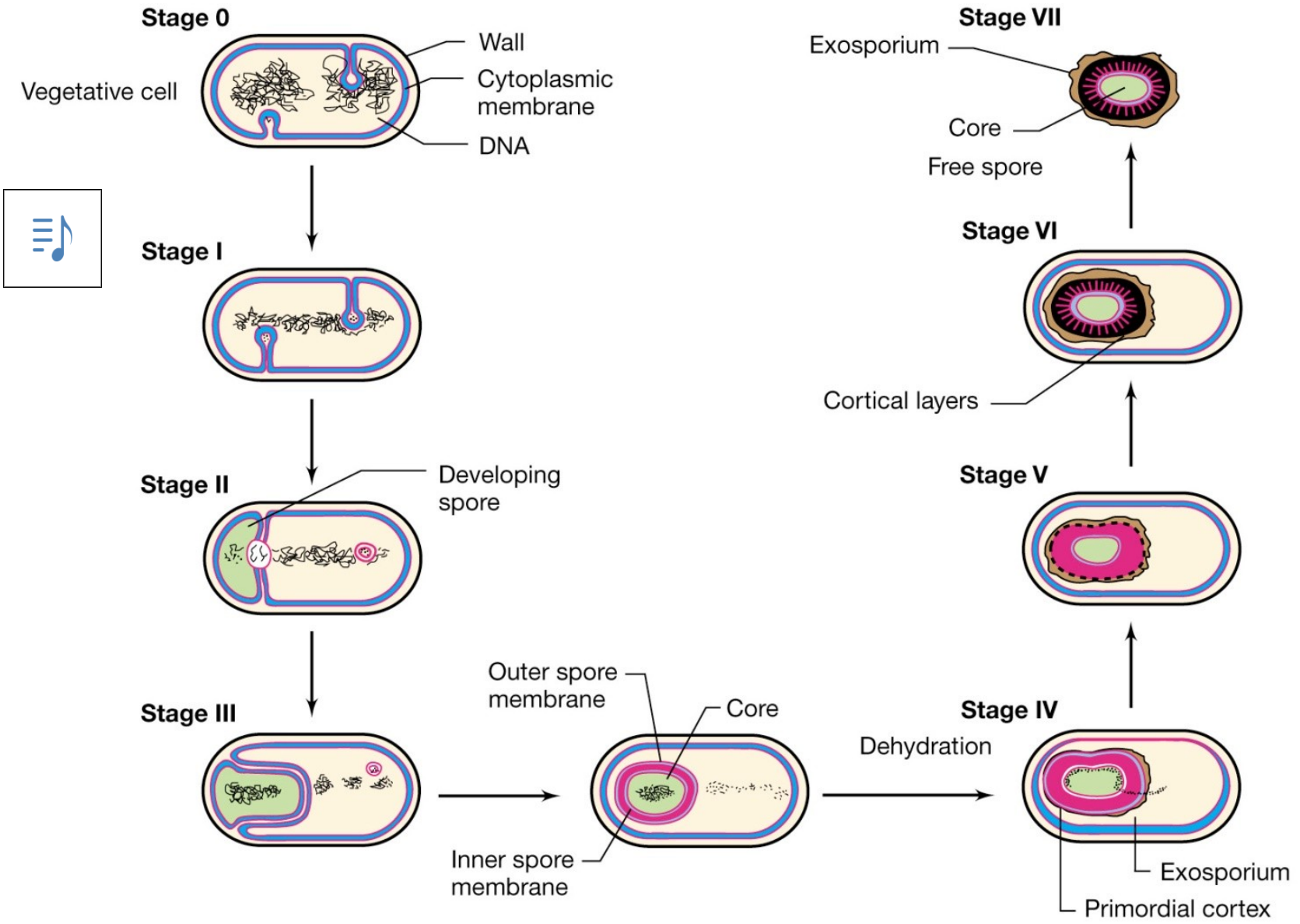


Pequeñas proteínas ácido-solubles de la espora (SAPS): protegen el ADN

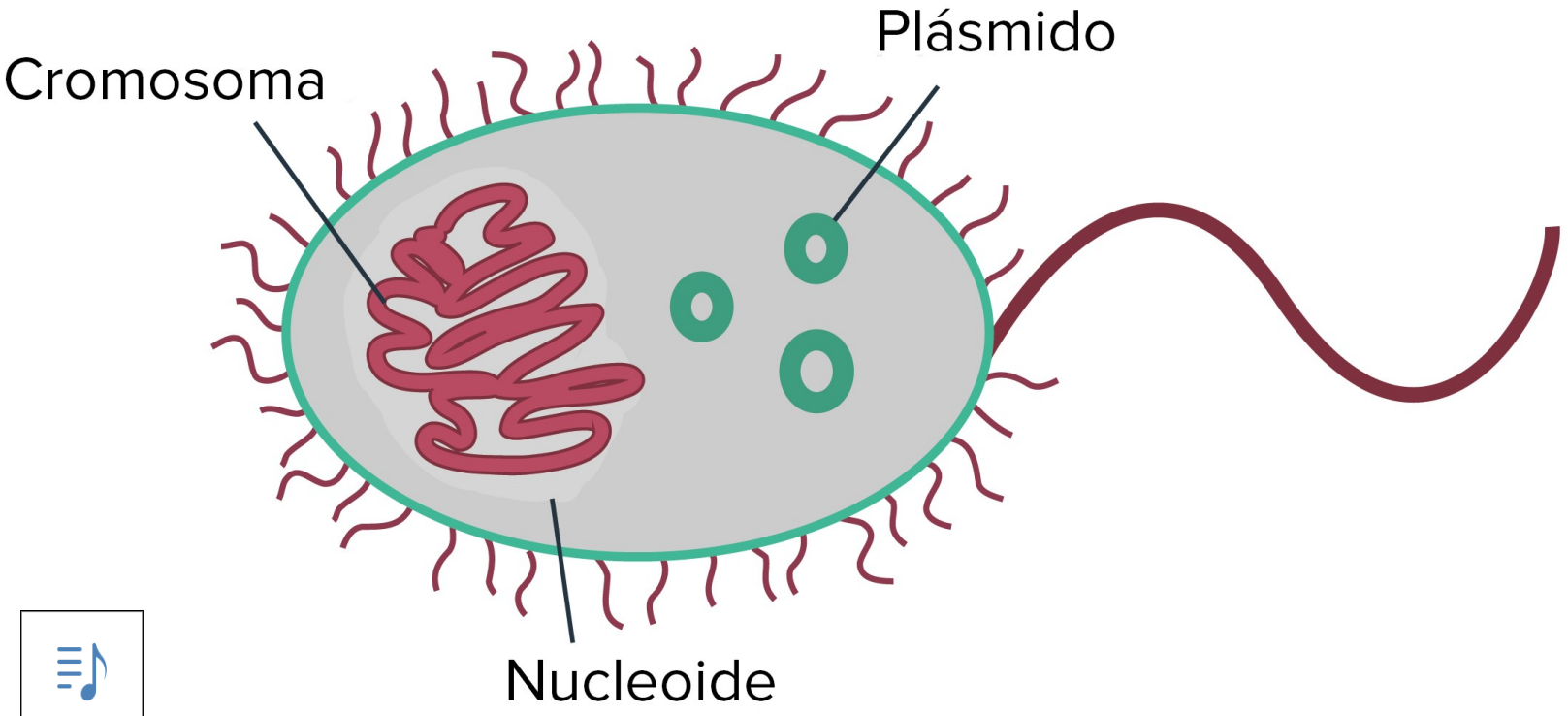


a) Ácido Dipicolínico (DPA)
b) Dipicolinato de calcio

Fases en la formación de una espora

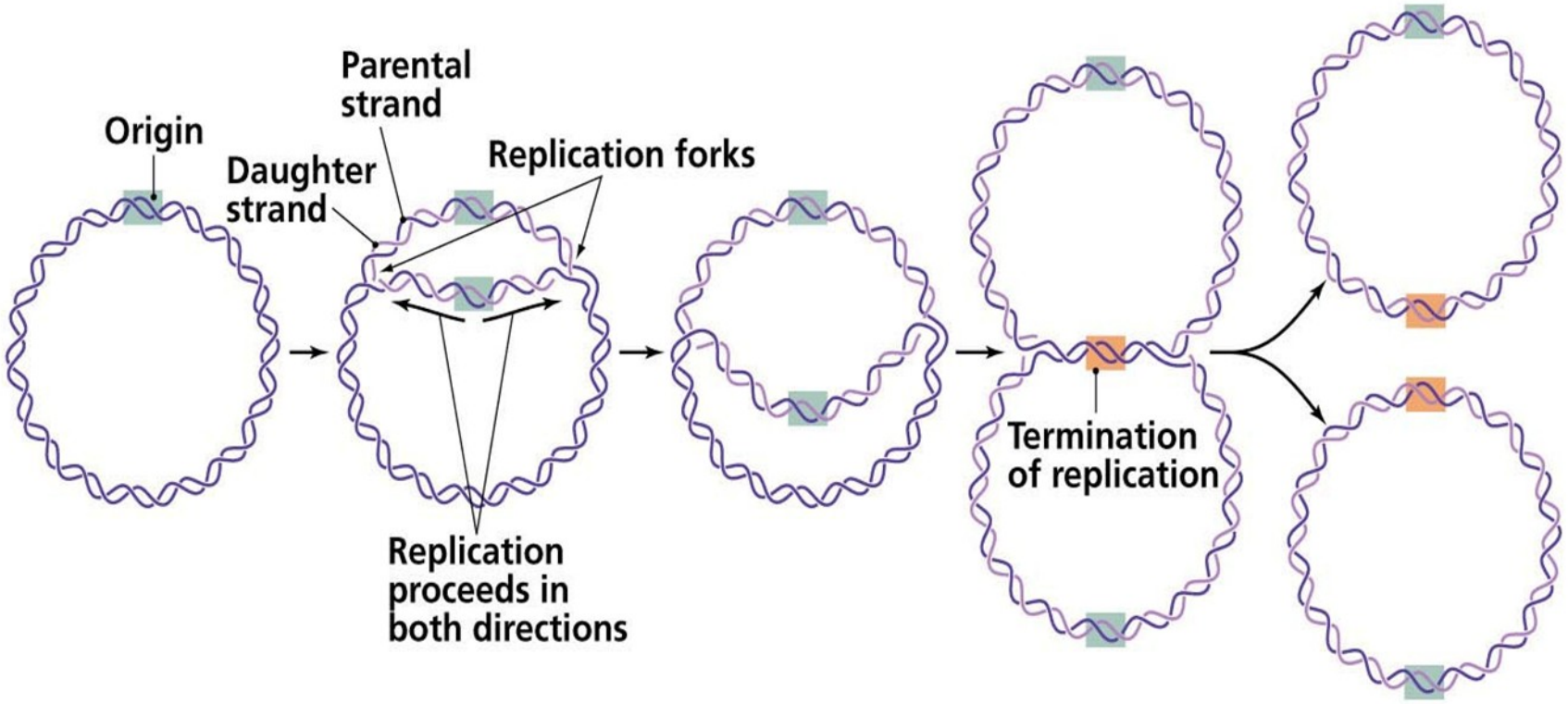


2.5.5 Material genético:



3. Repaso genética: Replicación

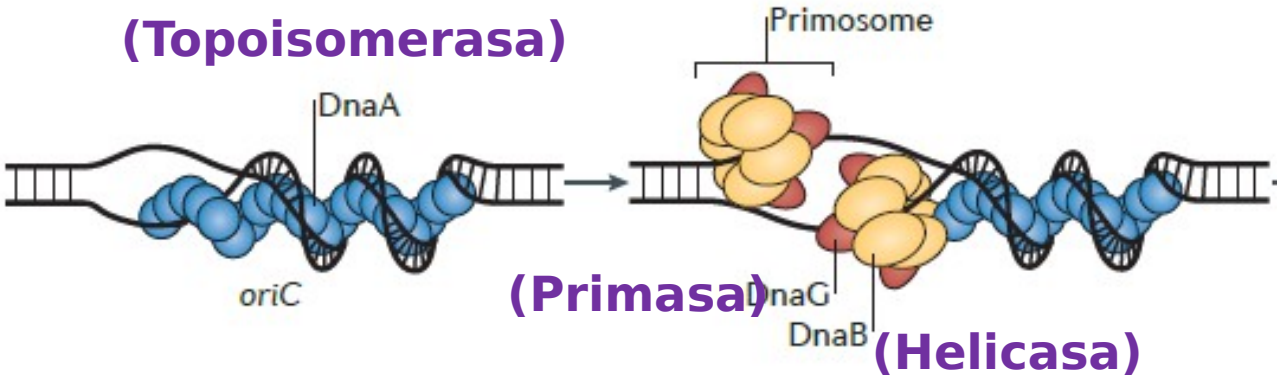
En bacterias con cromosoma circular, la replicación es bidireccional:



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Principales etapas y enzimas de la replicación del ADN bacteriano

(Topoisomerasa)

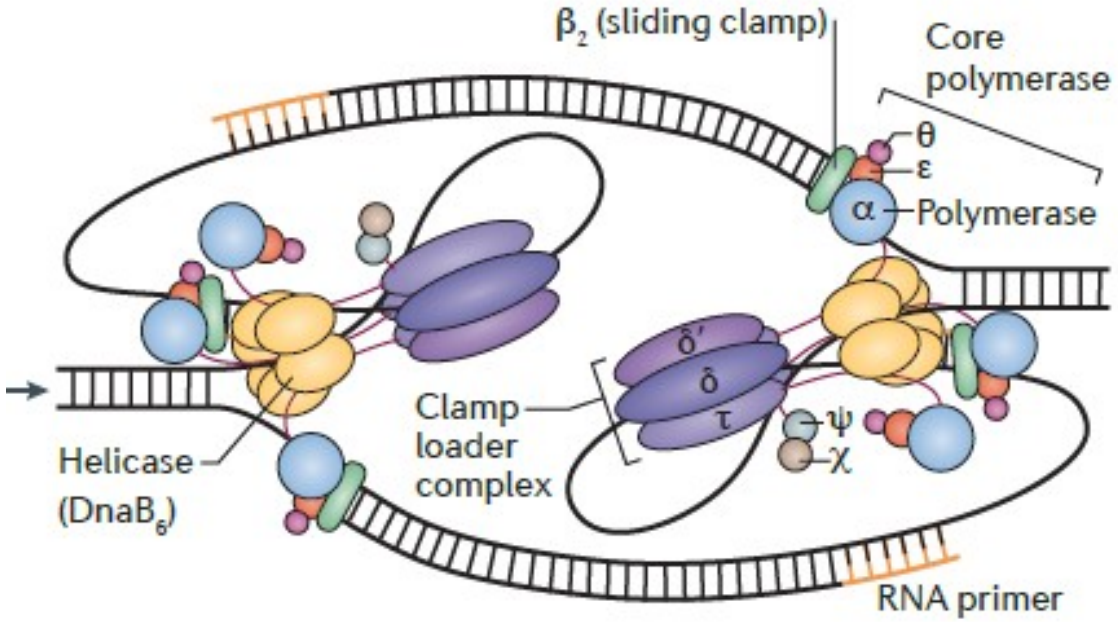


(Primasa)

(Helicasa)

1 Unwinding of origin

2 Primosome assembly



(ADN polimerasa)

3 Pol III HE assembly

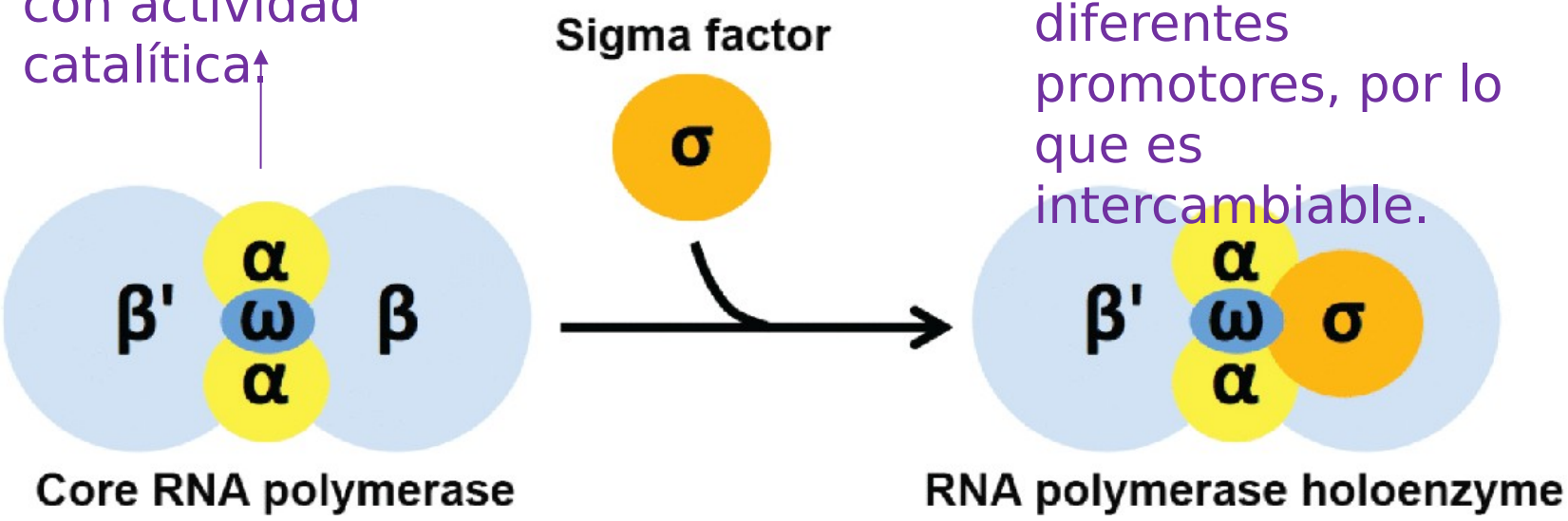
https://doi.org/10.1038/nrmicro2994

Transcripción

ARN polimerasa:

Parte de la enzima con actividad catalítica

Subunidad necesaria para la unión específica a un promotor. Hay varios tipos que reconocen diferentes promotores, por lo que es intercambiable.



Pierce, B. A. 2014. Genetics: a conceptual approach, 5th ed. W.H. Freeman and Company, New York, NY.

Ω ω
omega

Dominios del factor σ

Estructura básica de un promotor bacteriano

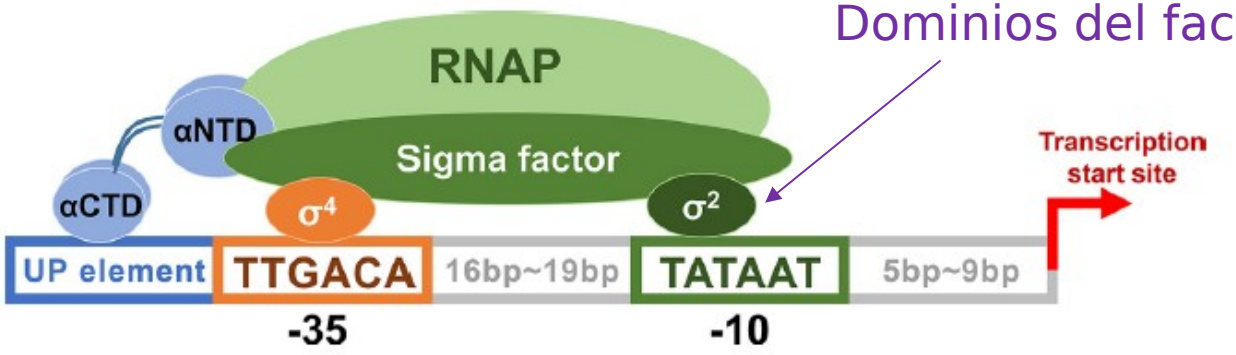
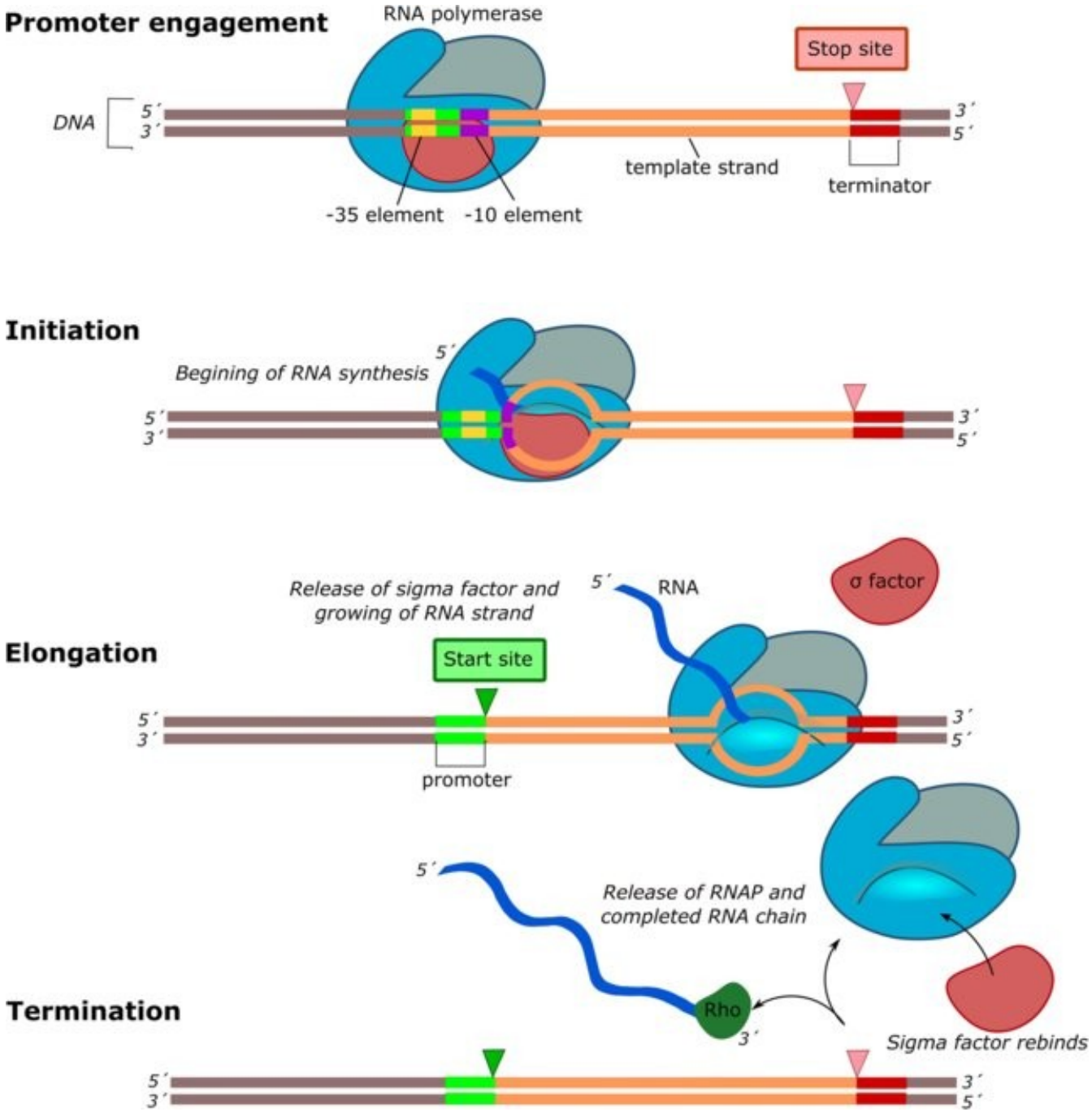


Table 5.1 Different types of σ factors in *E. coli* and the consensus sequences for their corresponding promoters.

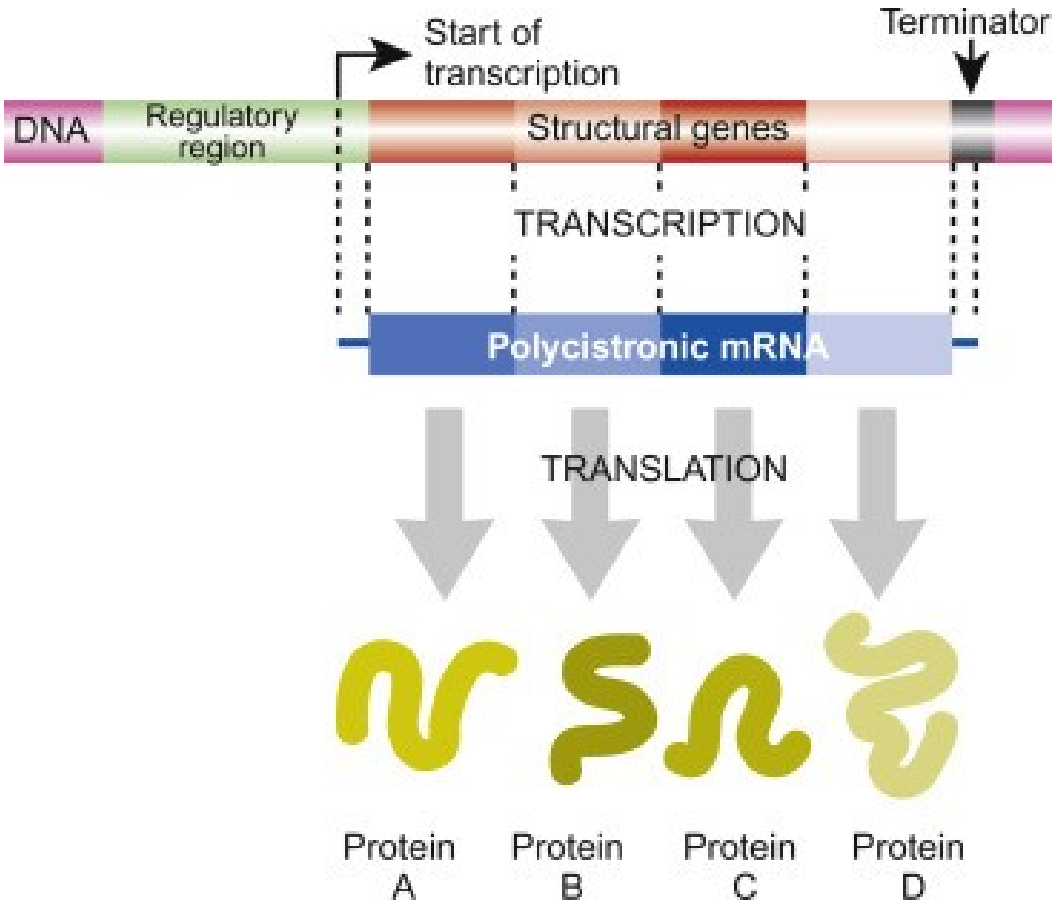
Sigma factor	Gene	Consensus sequence for corresponding promoter	Function
σ^{D} (σ^{70})	*ropD*	TTGACA-N_{17}-TATAAT	Housekeeping
σ^{N} (σ^{54})	*ropN*	CTGGCAC-N_{5}-TTGCA	Nitrogen metabolism
σ^{S} (σ^{38})	*ropS*	TTGACA-N_{12}-TGTGCTATACT	Stress response
σ^{H} (σ^{32})	*ropH*	CTTGAA-N_{14}-CCCCATNT	Heat shock
σ^{F} (σ^{28})	*fliA*	TAAA-N_{15}-GCCGATAA	Flagellar proteins
σ^{E} (σ^{24})	*rpoE*	GAACTT-N_{16}-TCTGA	Extreme heat shock
σ^{fecI} (σ^{19})	*fecI*	GGAAAT-N_{17}-TC	Iron transport

http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-819601-4.00005-9



https://doi.org/10.1007/s00253-020-10577-0

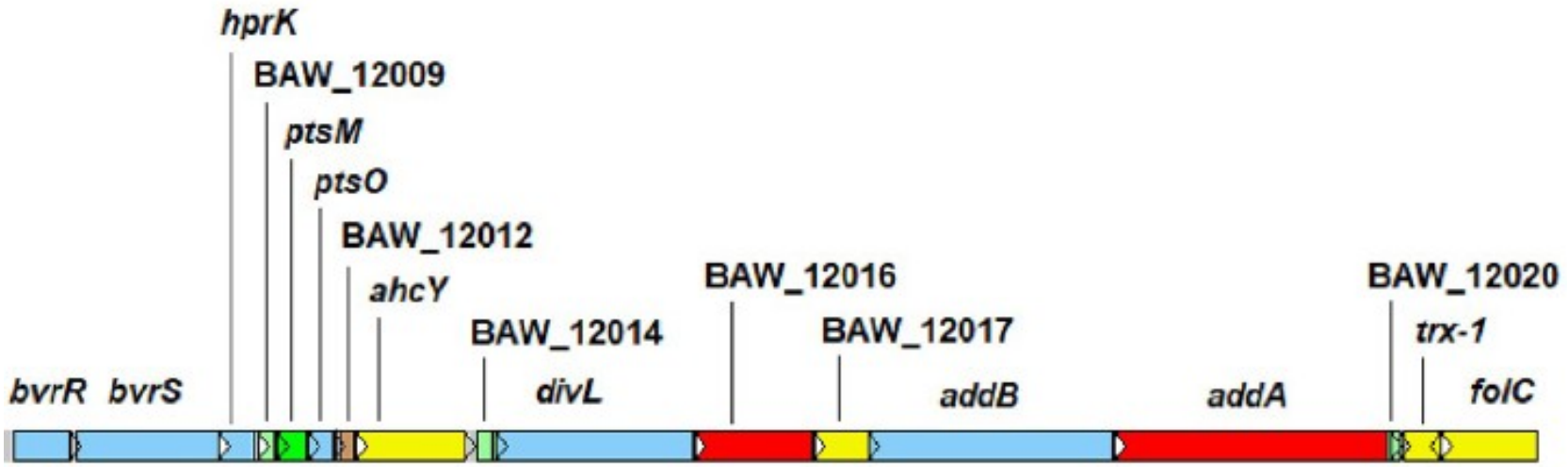
Organización transcripcional en bacterias: el modelo del operón



https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/operon

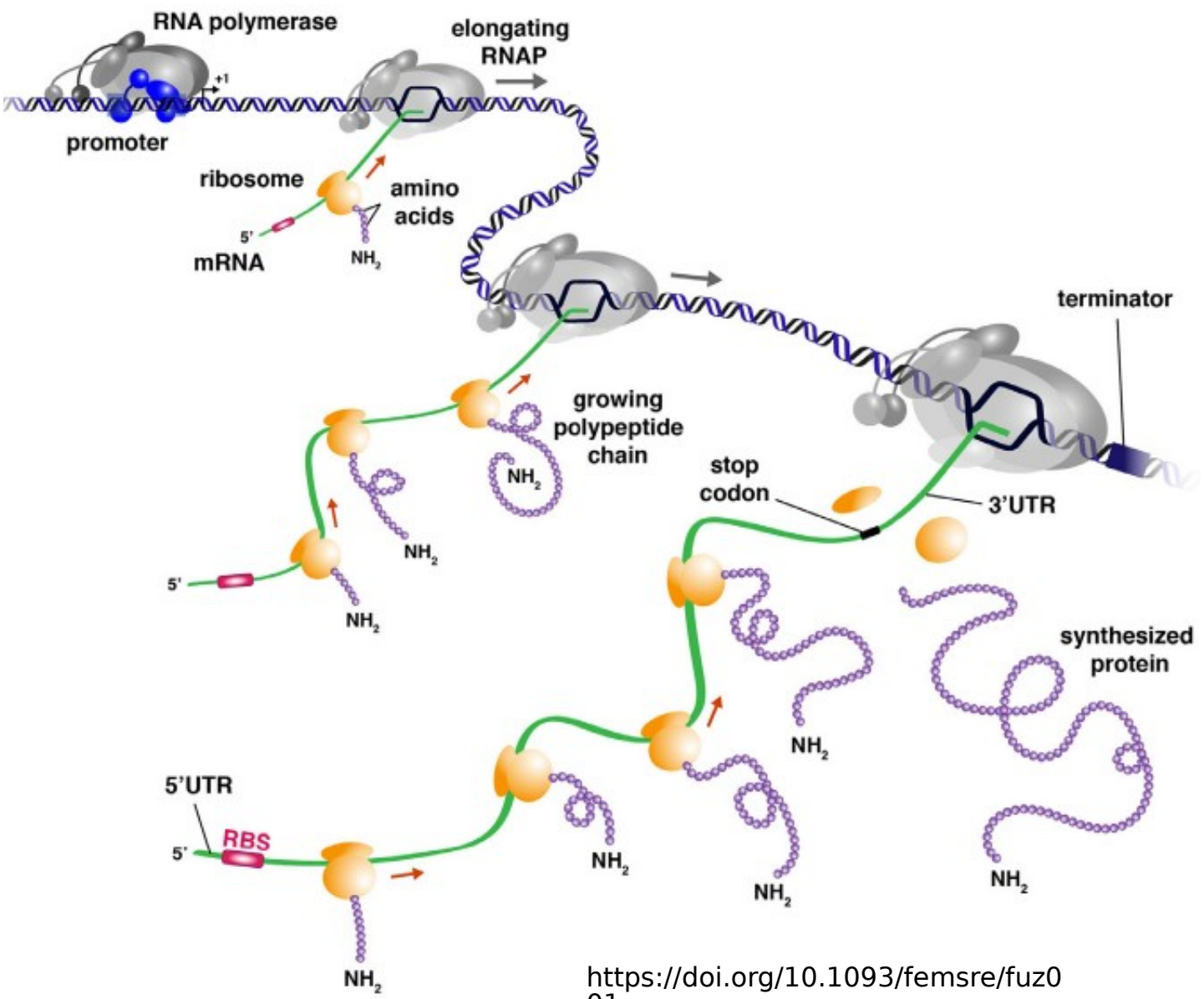
- **Operón** = conjunto de genes que codifican enzimas relacionadas y que están bajo el control de un mismo promotor
- La ARN polimerasa transcribe todo el conjunto de genes y genera una sola molécula larga de ARNm, llamada **ARNm policistrónico**
- Al traducirse, se sintetizan varios polipéptidos uno

- Otro ejemplo más complejo es el operón *bvrR/bvrS* de *Brucella abortus* que contiene 16 genes relacionados con procesos de virulencia:



https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274397

En bacterias, la transcripción está acoplada con la traducción:



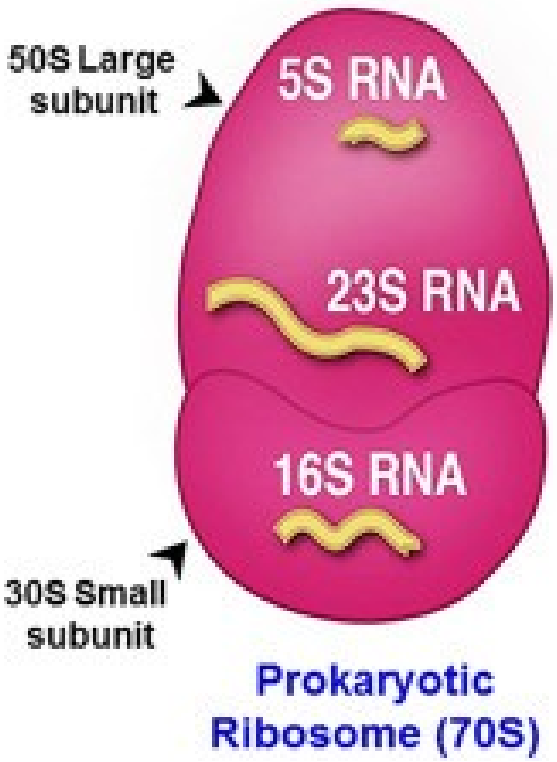
https://doi.org/10.1093/femsre/fuz001

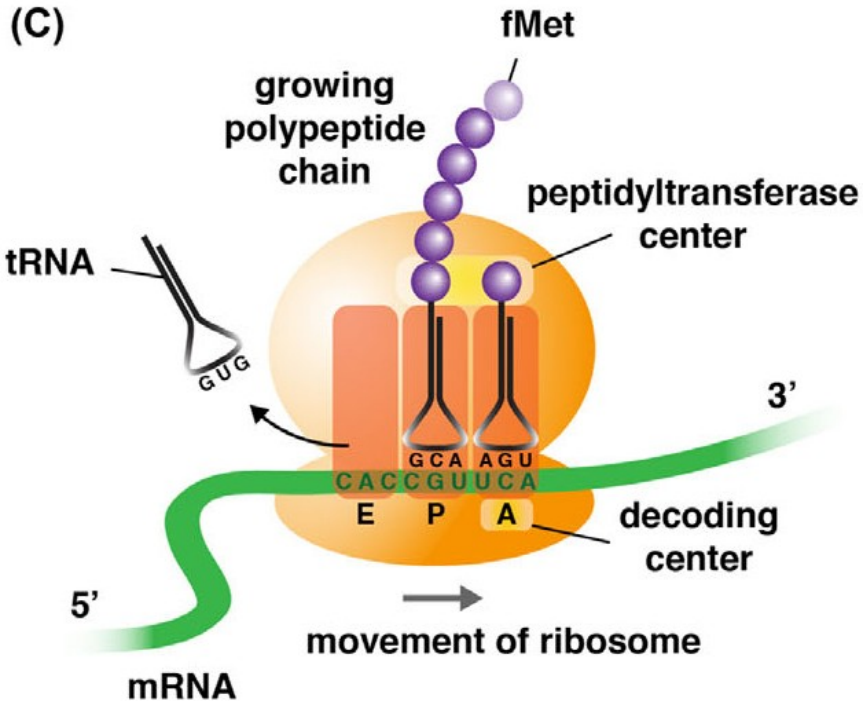
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

TABLE 9.2

Types of Ribonucleic Acid

RNA Type	Contains Codes For	Function in Cell	Translated
Messenger (mRNA)	Sequence of amino acids in protein	Carries the DNA master code to the ribosome	Yes
Transfer (tRNA)	A cloverleaf tRNA to carry amino acids	Brings amino acids to ribosome	Helps in translation
Ribosomal (rRNA)	Several large structural rRNA molecules	Forms the major part of a ribosome and participates in protein synthesis	No
Primer	An RNA that can begin DNA replication	Primes DNA	No
Ribozymes	RNA enzymes, parts of splicer enzymes	Remove introns from other RNAs in eucaryotes	No

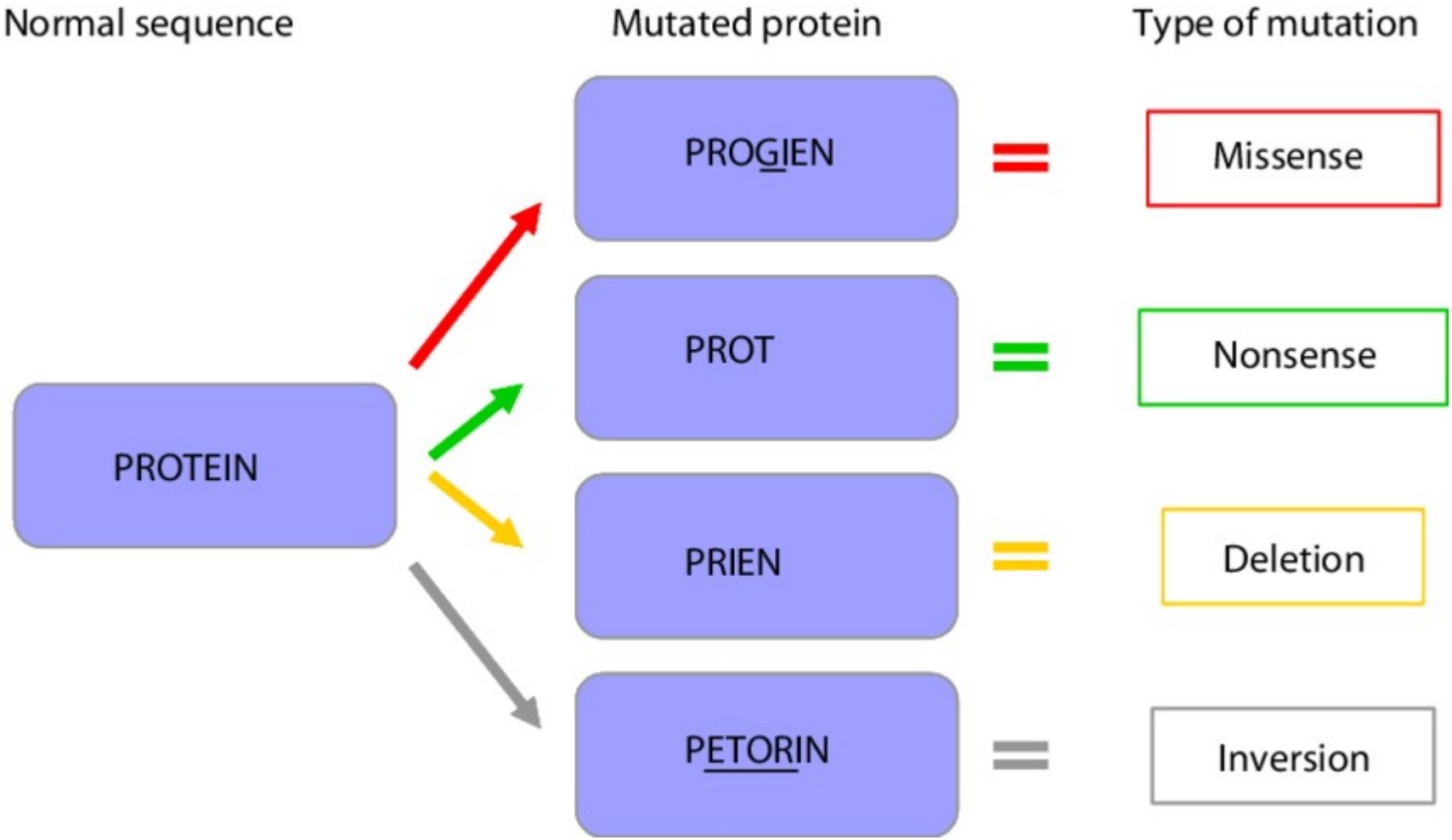




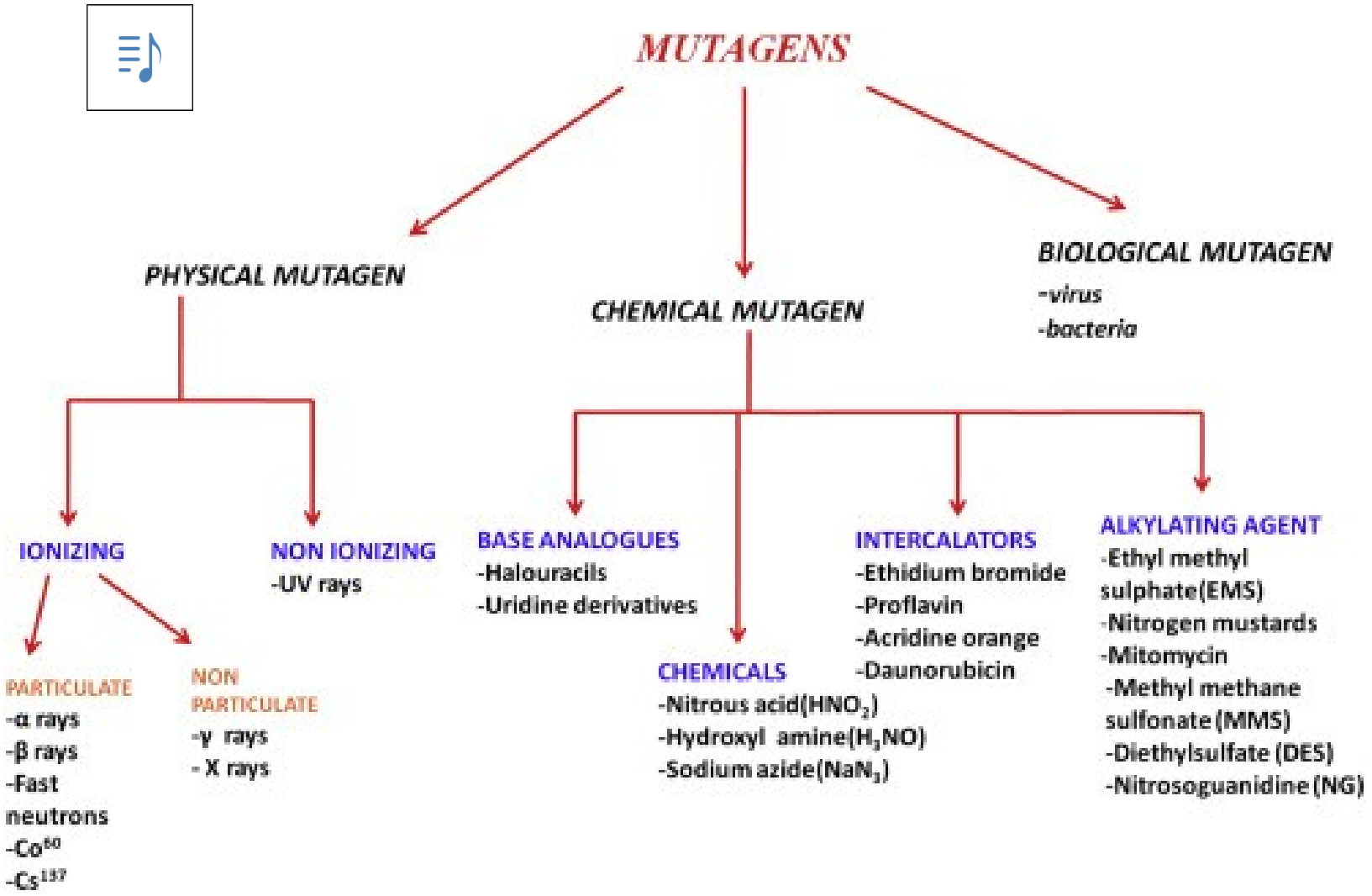
https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816364-1.00002-0

https://doi.org/10.1093/femsre/fuz001

Mutaciones

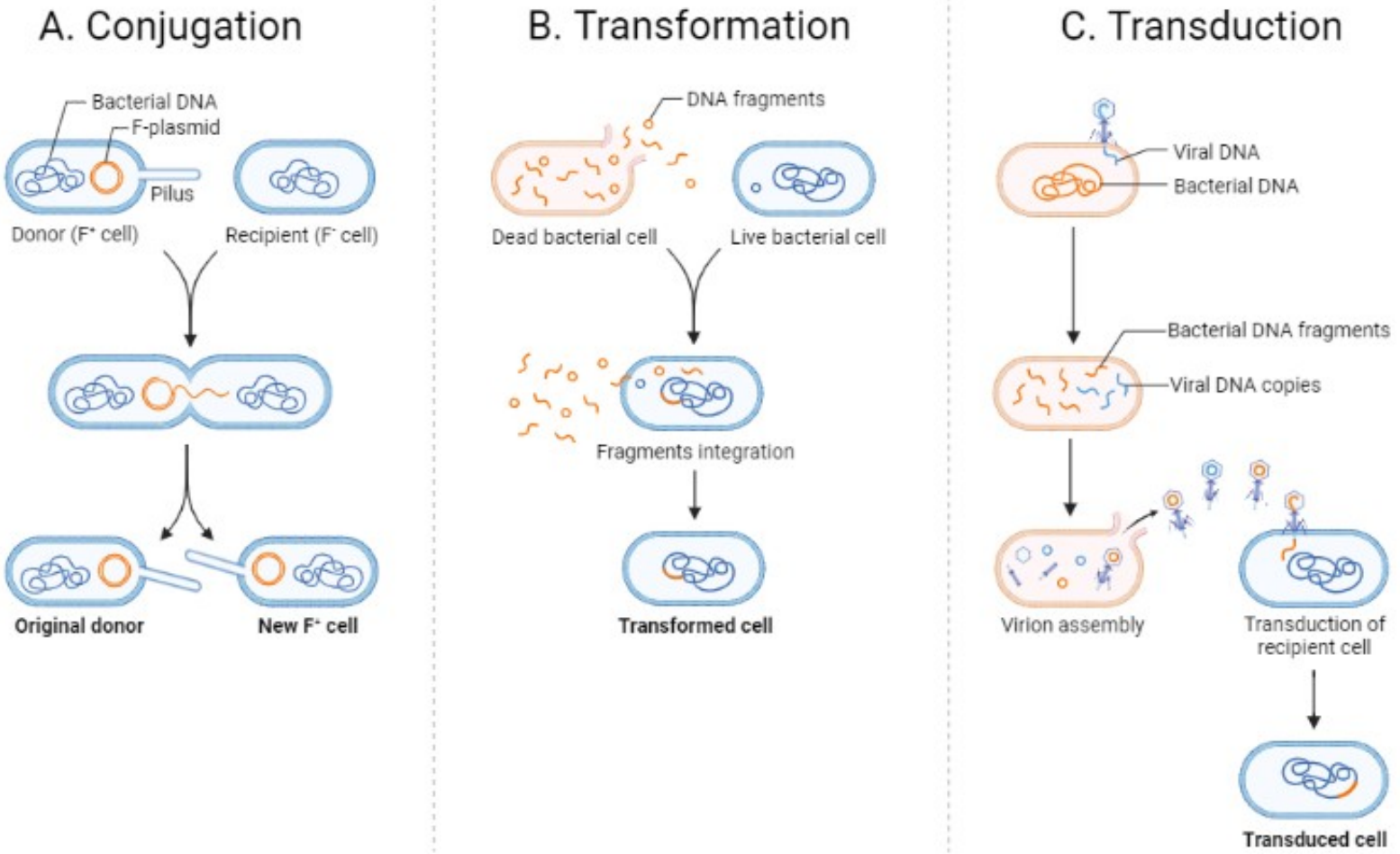


http://dx.doi.org/10.5339/gcsp.2012.6

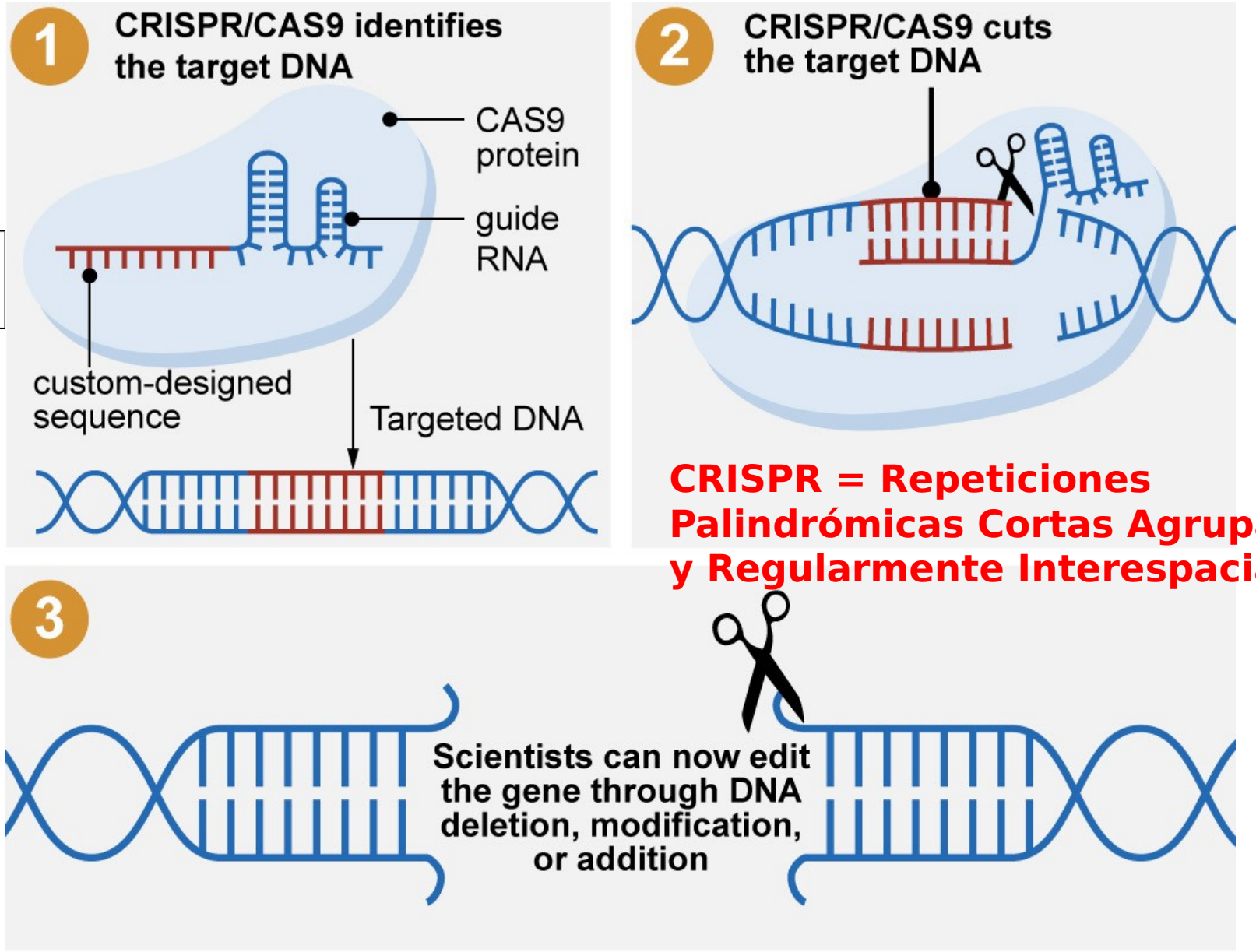


https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809252-1.00001-8

Recombinación: conjugación, transformación, traducción



G. S. Gilbert and I. M. Parker, in press. Chapter 5, The Evolutionary Ecology of Plant Disease (Oxford University Press).

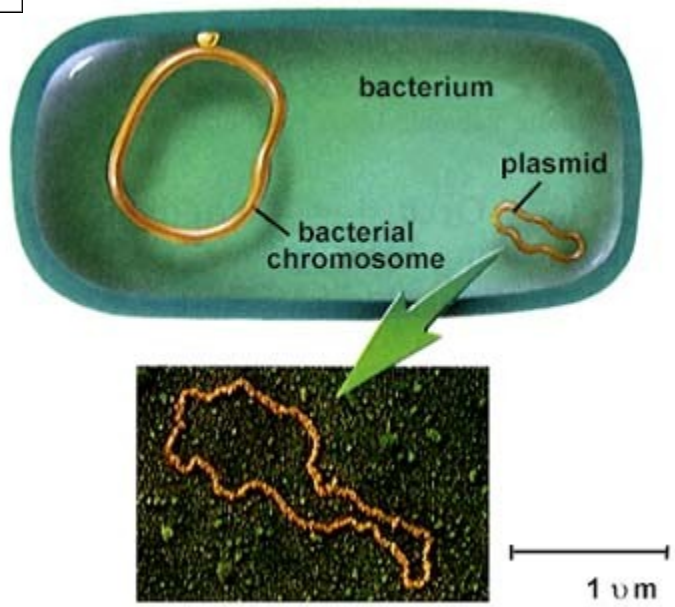


CRISPR = Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas

Source: GAO. | GAO-20-478SP

https://www.gao.gov/products/gao-20-478sp

Plásmidos y clonación molecular



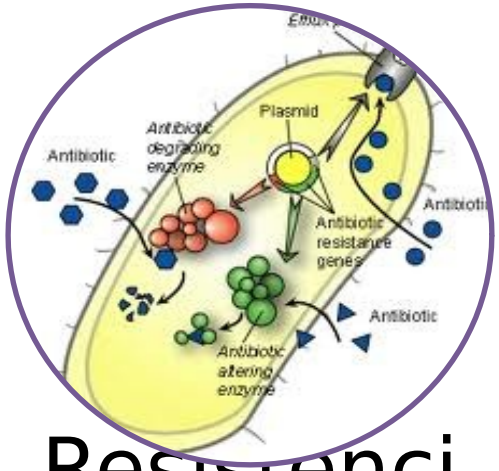
Molécula circular de ADN doble banda que constituye un replicón extracromosomal

Tamaño variable desde 5kb hasta 300kb

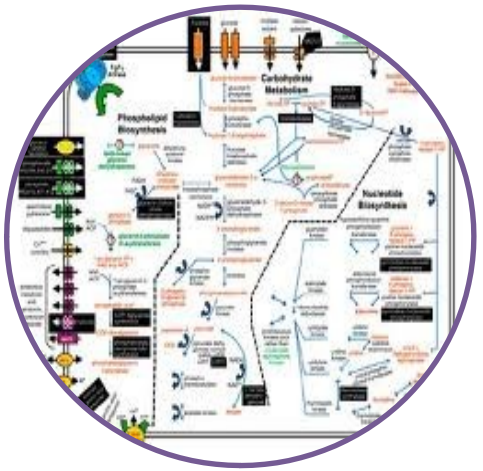
Número de copias variable desde 1 hasta 30

A mayor tamaño, menor número de copias (costo energético)

Virulencia



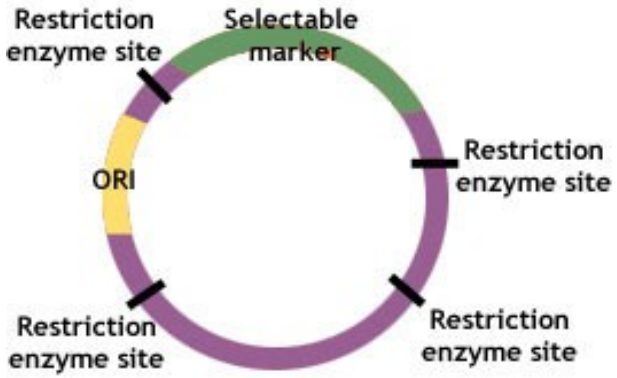
Resistencia a antibióticos

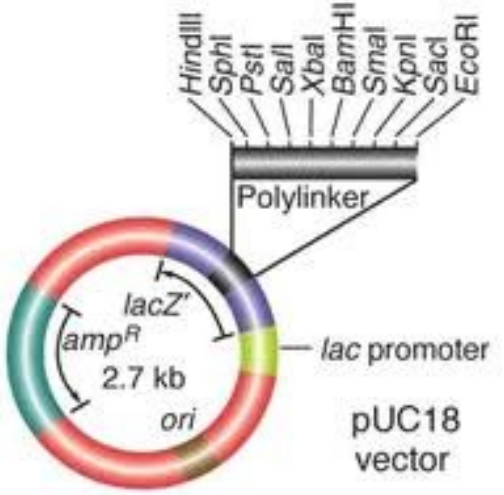


Vías metabólicas

Ejemplos de características codificadas en plásmidos

ásmidos como vectores de clonación



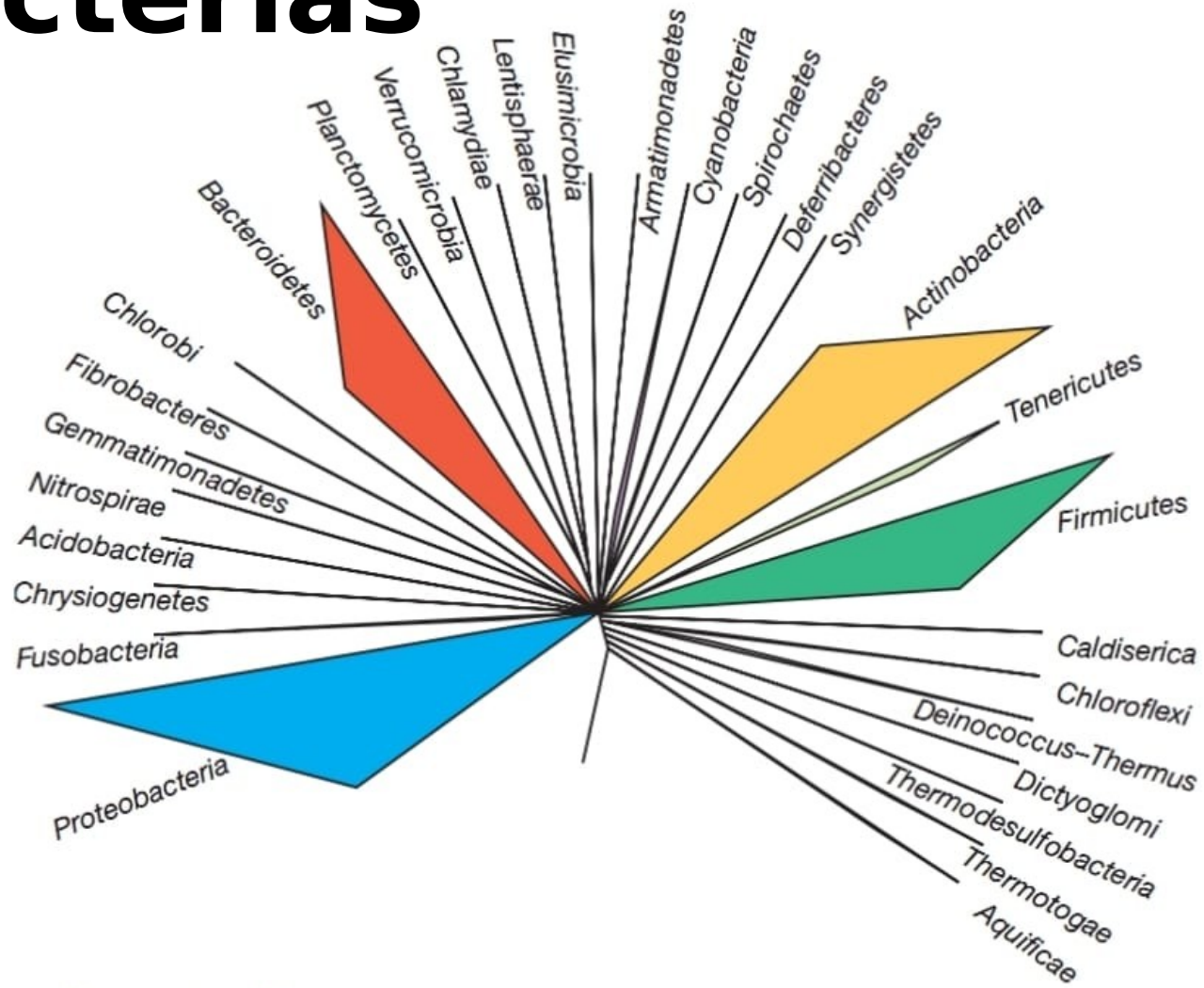


Plásmidos diseñados por ingeniería genética para clonar y replicar un segmento de ADN de interés

Contienen un origen de replicación, un marcador de selección, un gen reportero, un promotor y un sitio de clonaje múltiple

Lo ideal es que estas funciones representen el menor espacio posible dentro del vector

4. Grupos y familias de bacterias



(a) **Major phyla of *Bacteria***

Brock, T. D., Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2003). Brock biology of microorganisms. Upper Saddle River (NJ): Prentice-Hall, 2003..

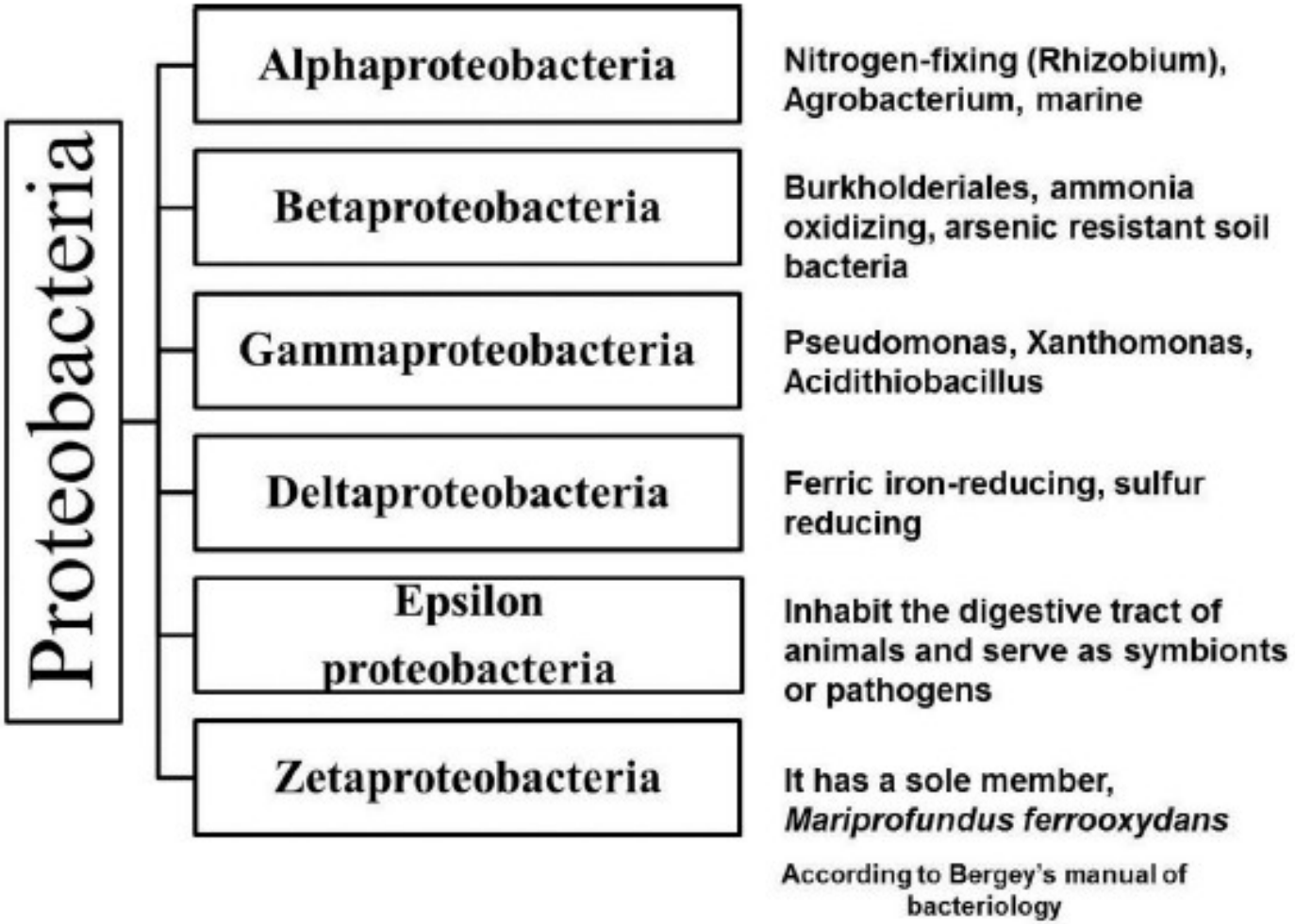


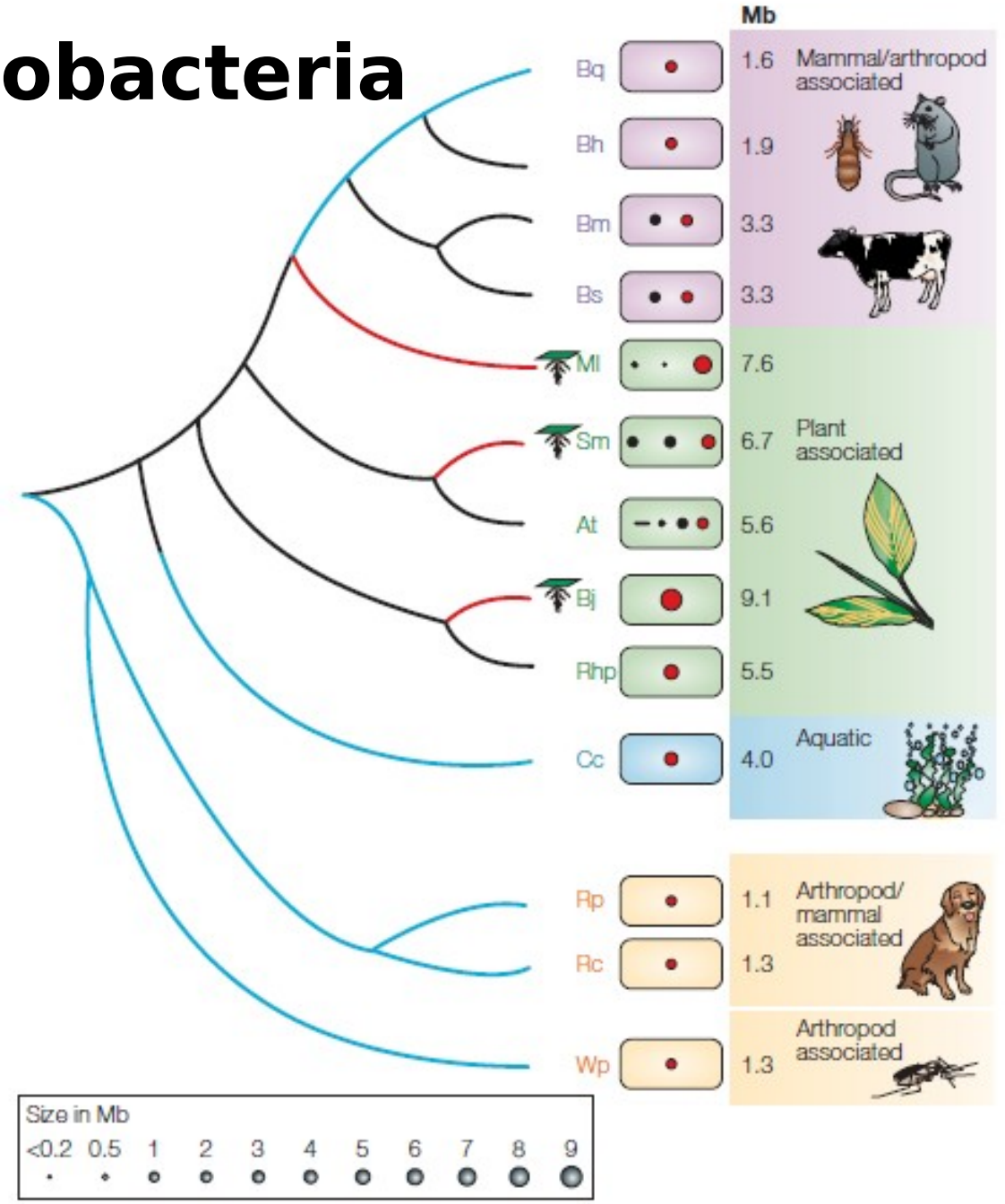
Figure 1 The subgroups of proteobacteria and the main members of each subgroup.

https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-S15-S9

Alphaproteobacteria

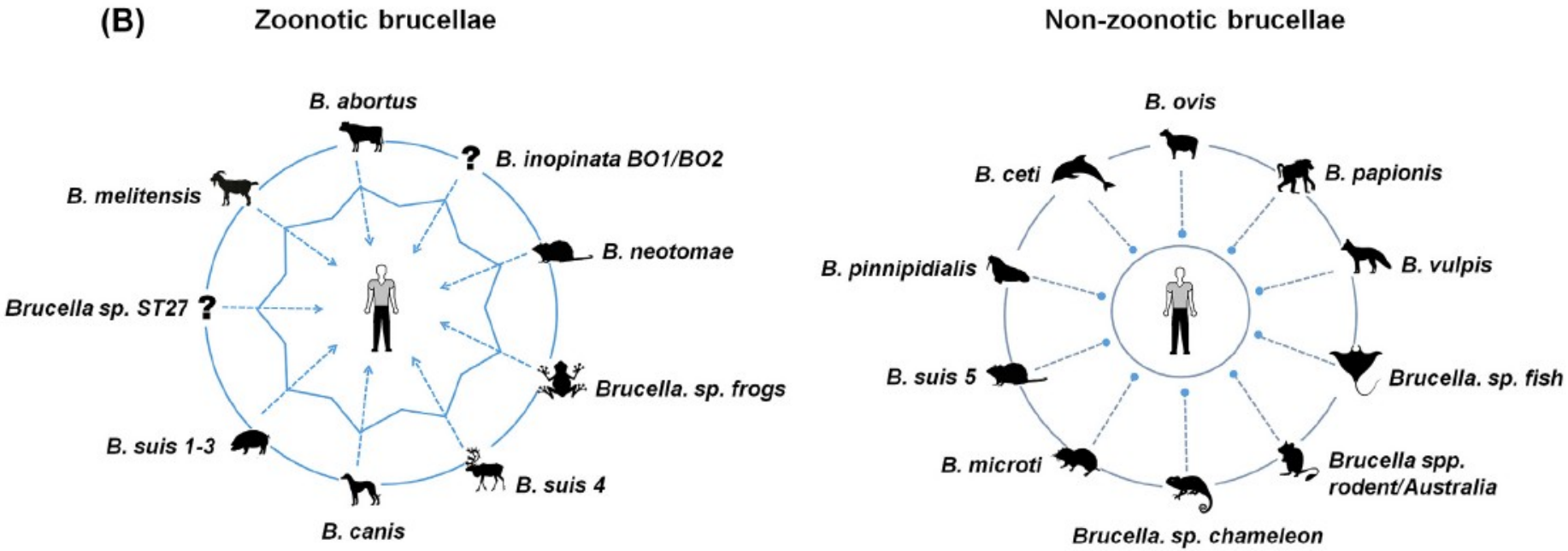
At, Agrobacterium tumefaciens; Bh, Bartonella henselae; Bj, Bradyrhizobium japonicum; Bm, Brucella melitensis; Bq, Bartonella quintana; Bs, Brucella suis; Cc, Caulobacter crescentus; Ml, Mesorhizobium loti; Sm, Sinorhizobium meliloti; Rc, Rickettsia conorii; Rhp, Rhodopseudomonas palustris; Rp, Rickettsia prowazekii; Wp, Wolbachia pipientis.

https://doi.org/0.1038/nrmicro1044



Género *Brucella*

- Presenta 21 “especies” que comparten un alto grado de similitud genética, pero presentan una marcada preferencia de hospedero:



https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa045

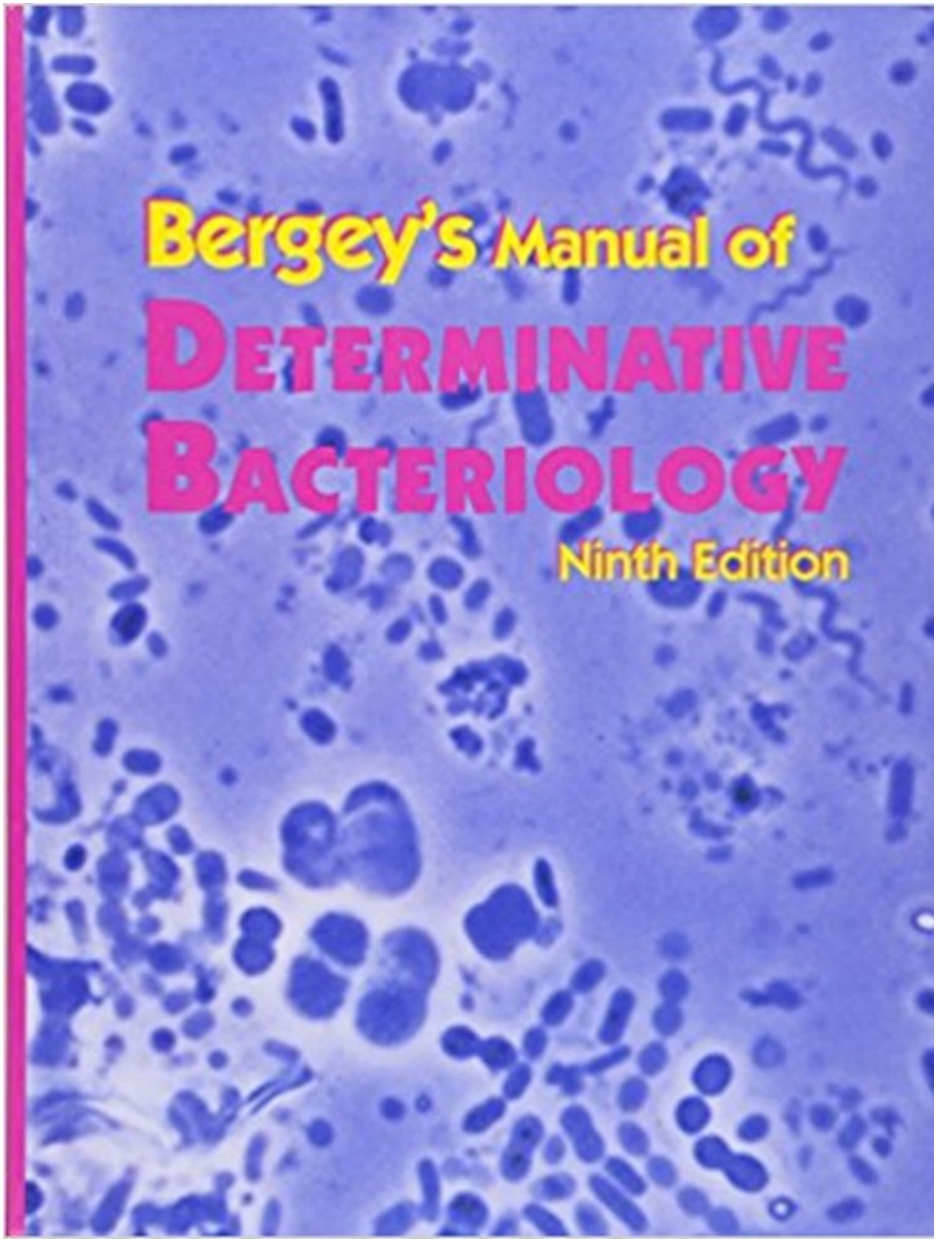
Sistemas de identificación y clasificación bacterianos

- Morfología
  - Microscópica
  - Macroscópica

Characteristics	Results	
	Salmonella	*Brucella*
1- Morphological characteristics		
Gram stain	-	-
Motility	+	-
Shape	Rod	Cocci bacilli
Colony morphologies on selective media	Black-centered red colonies (H_2S producers)	Round, glistening and smooth or mucoid colonies
2- Biochemical characteristics		
TSI	Alkaline /Acid with gas & H_2S produced	Alkaline /Alkaline & no H_2S produced
Hydrogen sulfide	+	-
Oxidase	+	-
Urease	+	-

Biochem. Cell. Arch. Vol. 20, Supplement 2, pp. 4189-4194, 2020

- El sistema actual de taxonomía bacteriano está indicado en el “Bergey’s Manual of Systematic Bacteriology”
- Es una colección de varios volúmenes dedicados a diferentes grupos

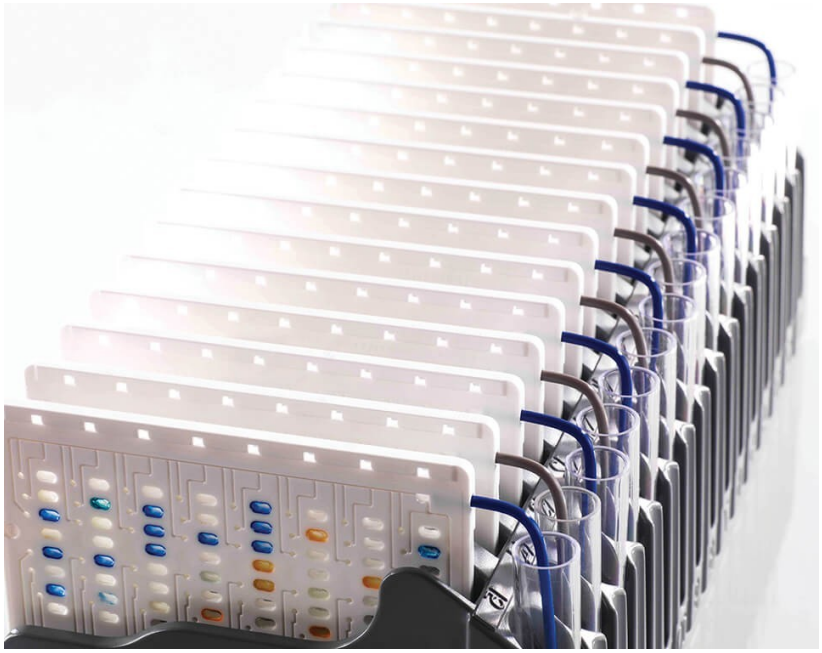


Sistemas miniaturizados de identificación bacteriana

- Información previa: Tinción de Gram y morfología (coco, bacilo, etc).
- Hay sistemas para Gram – y Gram +
- Generalmente utilizan características fisiológicas y bioquímicas conocidas según su respuesta a la tinción
- Puede ser que también se necesite conocer más información previa:
  - Ej. API 20E para Enterobacteriaceae que se utilizará en el curso de Laboratorio

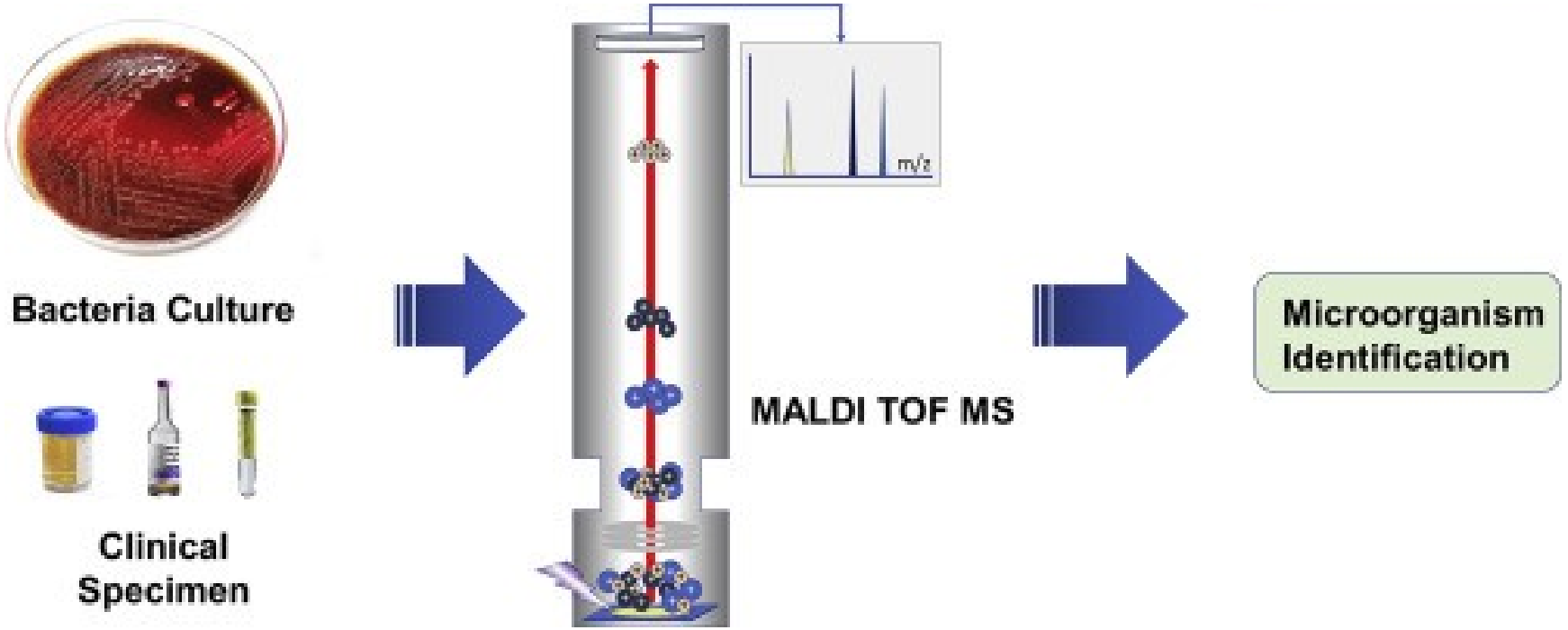
Vitek

- Sistemas automatizados



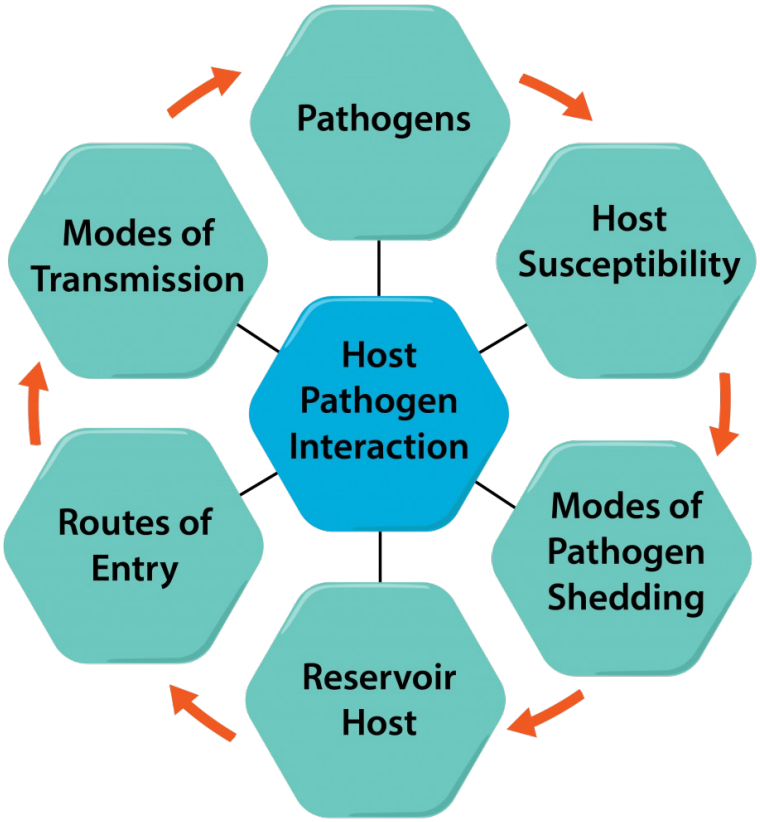
Maldi-tof

- Identificación bacteriana en segundos por comparación del espectro de proteínas con una base de datos



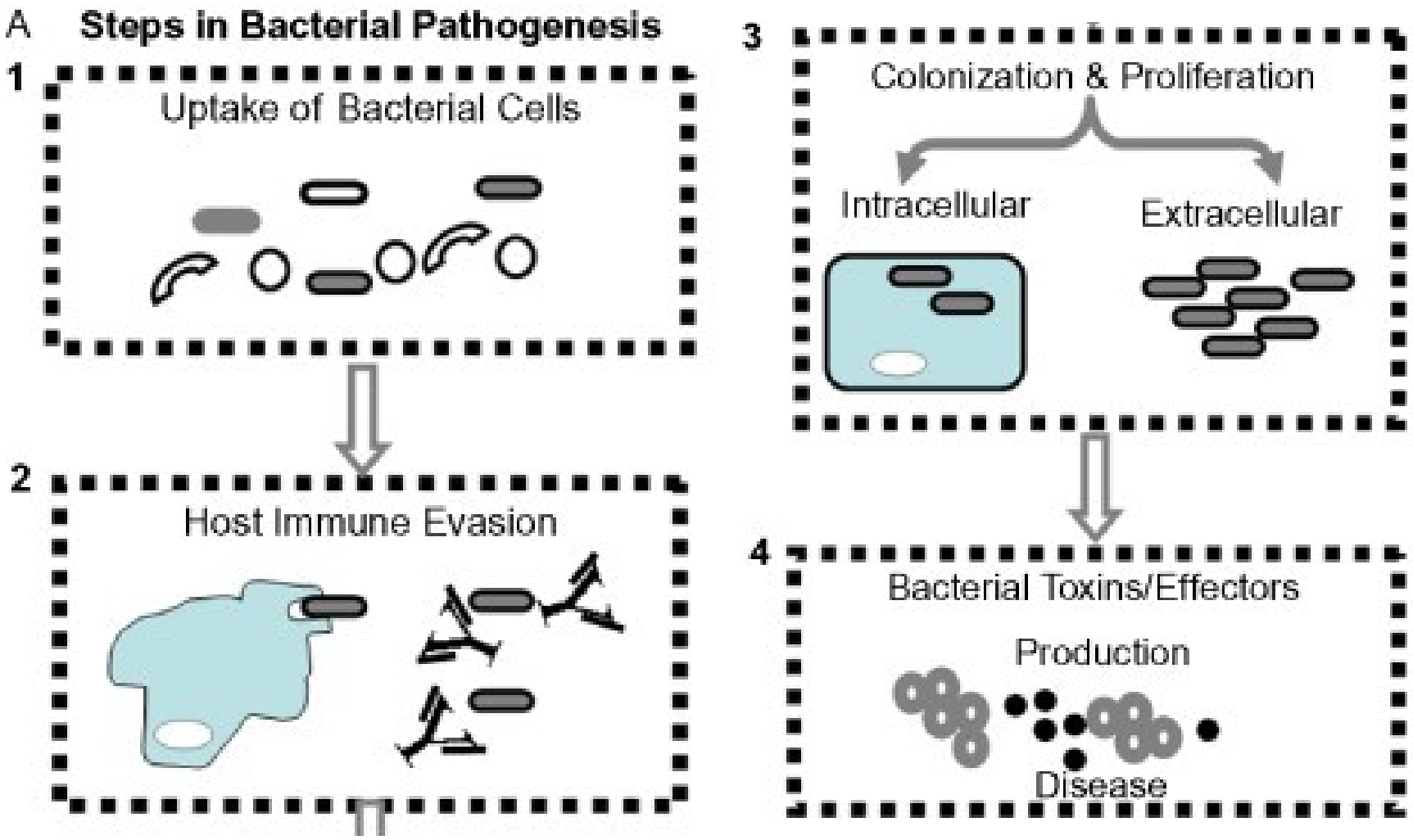
Descomposición y análisis del espectro proteico

5. Nociones sobre patogénesis y virulencia



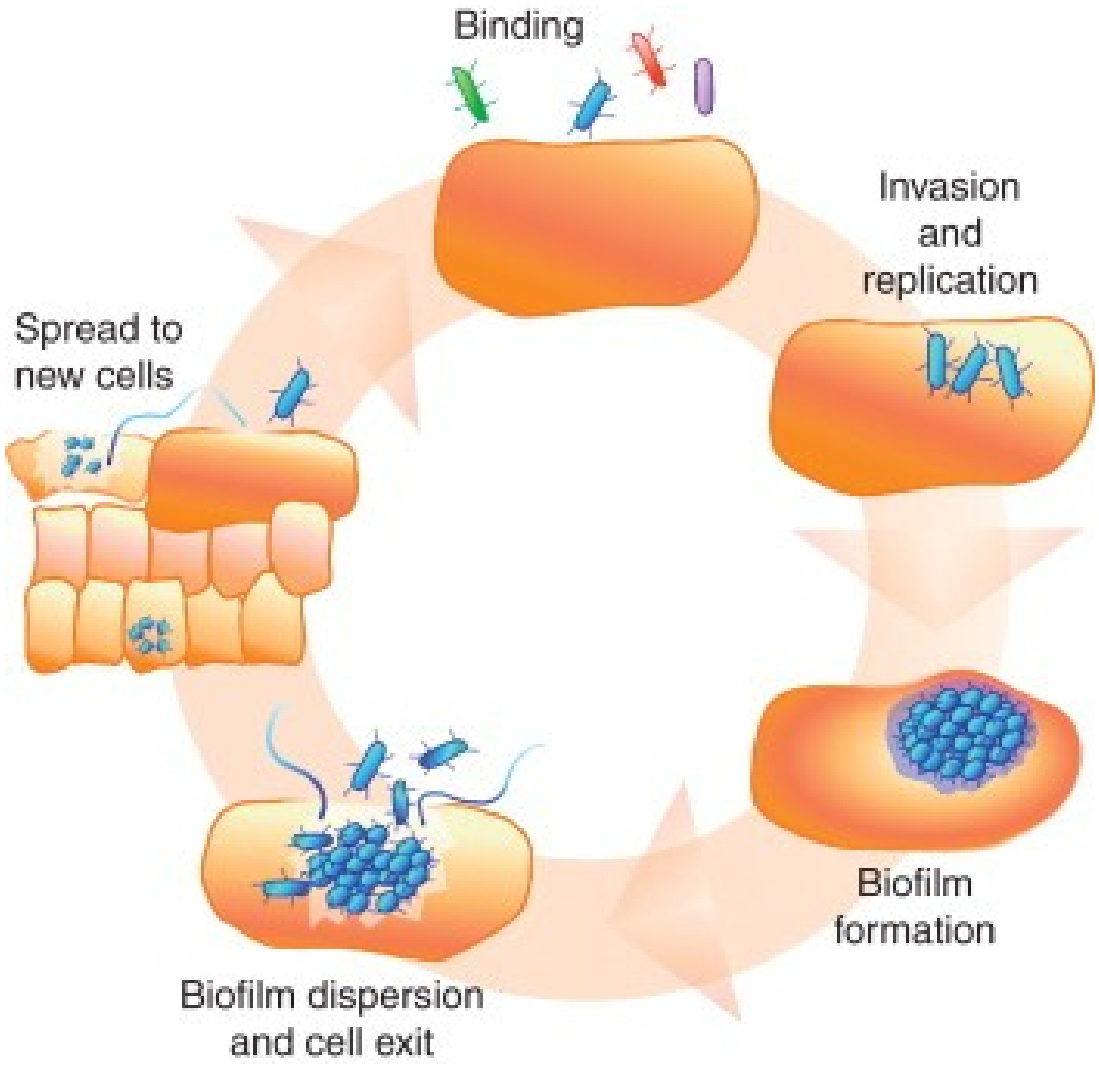
- Patogénesis: estudia el origen y desarrollo de las enfermedades
- Virulencia: capacidad de un microorganismo para producir una enfermedad

https://open.oregonstate.education/generalmicrobiology/chapter/bacterial-pathogenicity/



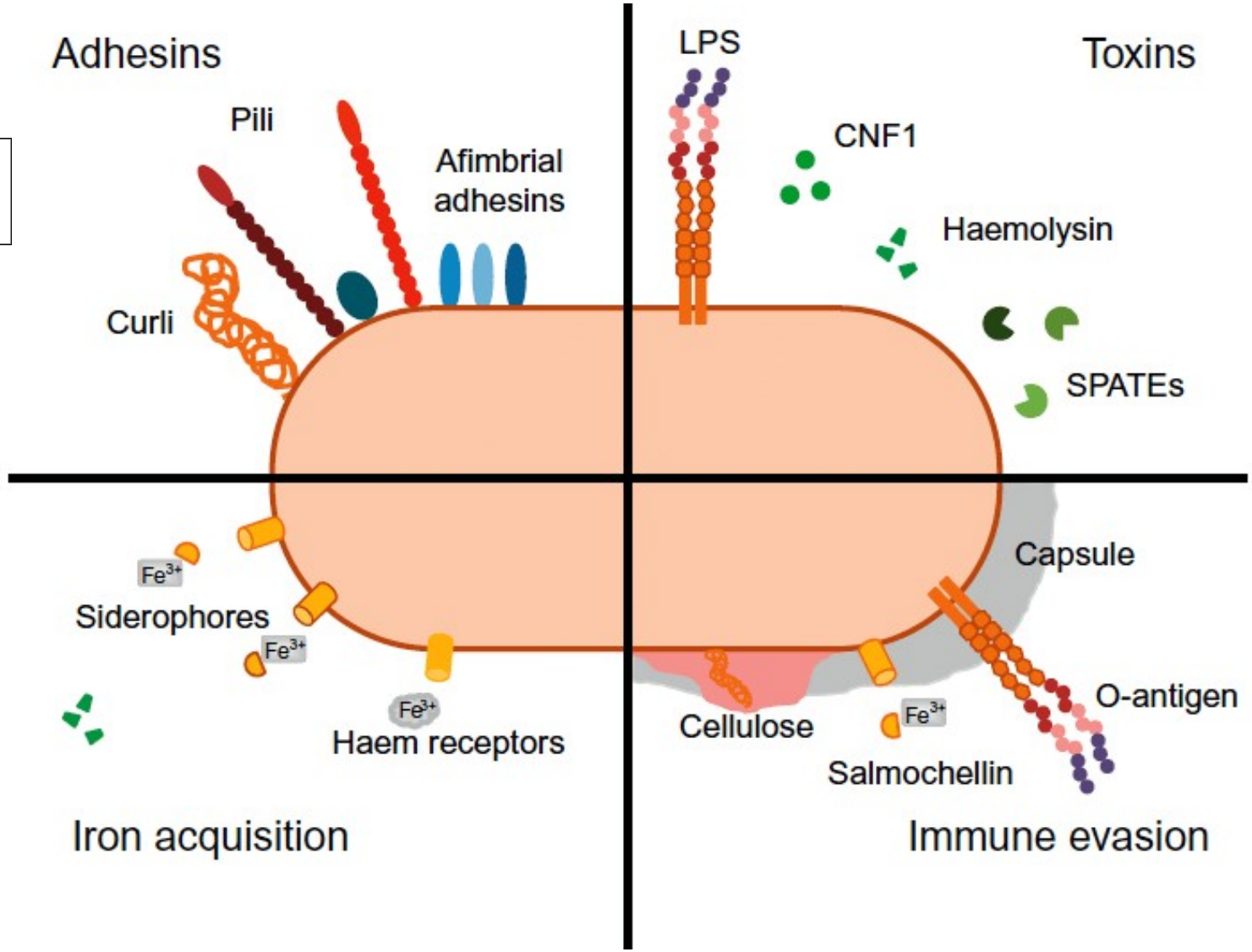
https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/virulence-factor

Etapas en la patogénesis de cepas de *E. coli* uropatogénicas



https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/uropathogenic-escherichia-coli

Factores de virulencia en cepas de *E. coli* uropatogénicas



https://doi.org/10.21608/ejmm.2020.249862